Accessions
262893.
Shelf No.
380671
FOUNDED 1852
SIT UT PATRIBUS SIT DEUS NOBIS
BOSTONIA
FONDITA A.D.
1630.
CIVITATIS REGIMINE DONATA A.D. 1822.
BOSTON PUBLIC LIBRARY
PROPERTY OF THE
PUBLIC LIBRARY OF THE
CITY OF BOSTON,
DEPOSITED IN THE
BOSTON MEDICAL LIBRARY.
Received June 19, 1879.

28. 6. 26.

TRAITÉ

D'OPTIQUE

CONSIDÉRÉE

DANS SES RAPPORTS AVEC L'EXAMEN DE L'ŒIL

TRAITÉ

D'OPTIQUE

CONSIDÉRÉE

DANS SES RAPPORTS AVEC L'EXAMEN DE L'ŒIL

PAR

LE Dr G. SOUS

Médecin oculiste des Bureaux de Charité,
Membre de la Société médicale d'Émulation et de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux,
de la Société Ophthalmologique d'Heidelberg,
Membre correspondant
de la Société Médico-Pratique de Paris, des Sociétés de Médecine de Marseille, Poitiers, Rouen, Neufchâtel, Lisbonne.

Avec 89 figures dans le texte.

PARIS
OCTAVE DOIN, ÉDITEUR
8, PLACE DE L'ODÉON, 8

1879

Tous droits réservés.

262,873
June 1979

AU DOCTEUR

LOUIS DE WECKER

PROFESSEUR LIBRE DE CLINIQUE OPHTHALMOLOGIQUE

A PARIS

Témoignage d'estime et de reconnaissance,

G. SOUS.

Les données optiques contenues dans la plupart des traités de physique ne suffisent pas aux besoins de la pratique médicale oculaire, car ces traités sont plus particulièrement rédigés en vue du programme du baccalauréat ou en vue d'applications étrangères à notre art. Si dans quelques-uns nous trouvons d'utiles notions, elles y sont en petit nombre, écourtées ou insuffisantes, et les questions pour nous les plus importantes y sont passées sous silence.

Pour combler cette lacune et réunir en un volume les principales connaissances d'optique nécessaires à l'examen de l'œil, j'ai écrit ce traité.

Autant que possible, j'ai suivi l'ordre adopté dans les traités de physique, laissant de côté une foule de démonstrations, pour n'exposer que celles dont les résultats ont été utilisés pour l'examen de l'œil.

La réfraction a été plus particulièrement l'objet de mon attention et je lui ai donné tout le développement qu'elle comportait. Pour plusieurs raisons, j'ai laissé de côté la théorie de Gauss. Cette théorie offre trop de difficultés

pour la plupart des médecins peu familiarisés avec les mathématiques. Elle n'est pas absolument indispensable pour la démonstration de la généralité des problèmes relatifs à l'examen de l'œil, et dans beaucoup de cas elle peut être remplacée par le développement des formules ordinaires. C'est ainsi que j'ai pu, d'une manière plus simple et non moins exacte, arriver à la solution de problèmes que d'autres n'ont abordé qu'avec cette théorie.

A la suite de la plupart des démonstrations et afin de mettre en évidence le côté pratique de certaines formules, j'ai cité des exemples dont j'ai donné la solution. Enfin, pour faciliter les recherches, j'ai fait disposer à la fin de cet ouvrage deux tables alphabétiques, l'une par ordre de matières, et l'autre par noms d'auteur.

Si mon travail arrivait à vulgariser les connaissances d'optique nécessaires à l'examen de l'œil, s'il pouvait contribuer à faire comprendre combien l'étude de l'optique est indispensable pour la solution de bien des problèmes, je serais heureux d'avoir songé à combler une lacune qui existe dans notre littérature ophthalmologique française, et mon but serait atteint.

Bordeaux, Mars 1879.

G. SOUS.

TABLE GÉNÉRALE DES MATIÈRES

CHAPITRE I

EXAMEN DE L'ŒIL EN GÉNÉRAL

Pages.

1. Considérations historiques 1
2. Acuité de la vision 3
3. Ophthalmoscopie 14
4. Accommodation. Réfraction 26

Bibliographie 41

CHAPITRE II

INTENSITÉ DE LA LUMIÈRE

5. Loi du carré des distances et du cosinus 42
6. Loi d'éclairement des surfaces 42
7. Propriété de l'œil de distinguer entre deux intensités lumineuses. 44
8. Influence de l'éclairage sur l'acuité de la vision 46

Bibliographie 52

CHAPITRE III

LUMIÈRE RÉFLÉCHIE

9. Catoptrique 53
10. Lois générales de la lumière réfléchie 54

CHAPITRE IV

MIROIRS PLANS

11. Définition 56
12. Images 56
13. Position des images 57
14. Appareil de Flees 58
15. Stéréoscope à charnière de Javal 60
16. Métroscope de Snellen 61

17. Ophthalmoscope d'Helmholtz..... 63
18. Ophthalmoscope d'Epkens..... 63
19. Ophthalmoscope de Saeman..... 64
20. Ophthalmoscope de Coccius..... 64
21. Ophthalmoscope de Hugo Gerold..... 65
22. Ophthalmoscope de Javal..... 65
23. Ophthalmoscope à deux faces de Panas..... 66
24. Miroir mi-partie plan et concave de Badal..... 66
Bibliographie..... 67

CHAPITRE V

MIROIRS SPHÉRIQUES

25. Définition..... 68
26. Axe secondaire..... 69
27. Foyer principal. Foyers conjugués..... 70
28. Détermination de l'angle d'ouverture..... 71

CHAPITRE VI

MIROIRS CONCAVES

29. Mesure de la longueur focale principale et du rayon de courbure. 73
30. Relation de position entre le point lumineux et son foyer conjugué. 74
31. Image des objets. Tracé..... 76
32. Relation entre la grandeur de l'objet et son image..... 77
33. Caustiques par réflexion..... 80
34. Ophthalmoscopes à miroir concave..... 82
35. Ophthalmoscope d'Anagnostakis..... 83
36. Ophthalmoscope mobile de Follin..... 83
37. Ophthalmoscope fixe Follin et Nachet..... 84
38. Ophthalmoscope Desmarres..... 85
39. Ophthalmoscope de Castorani..... 86
40. Ophthalmoscope achromatique d'Arthur Chevalier..... 87
41. Ophthalmoscope Liebreich..... 88
42. Ophthalmoscope Galezowski..... 89
43. Ophthalmoscope fixe de Montméja..... 91
44. Ophthalmoscope de Burke..... 93
Bibliographie..... 94

CHAPITRE VII

MIROIRS SPHÉRIQUES CONVEXES

45. Miroirs sphériques convexes..... 95
46. Relation de position entre le point lumineux et son foyer conjugué..... 95
47. Image des objets. Construction..... 97
48. Détermination de l'angle α..... 99

49. Détermination de l'angle du strabisme..... 101
50. Relation entre la grandeur de l'objet et de l'image..... 103
51. Relation entre la grandeur de l'image et le rayon de courbure... 104
52. Expérience de Scheiner..... 104
53. Lumière réfléchie par la face antérieure du cristallin..... 105
54. Démonstration de l'accommodation par le changement de courbure de la face antérieure du cristallin..... 106
55. Mesure de la longueur focale principale et du rayon de courbure. 108
56. Calcul du rayon de courbure de la face antérieure du cristallin, considérée comme miroir convexe..... 109
57. Ophthalmoscope de Zehender..... 111
Bibliographie..... 111

CHAPITRE VIII

MIROIRS PRISMATIQUES

58. Définition..... 112
59. Réflexion par les prismes..... 112
60. Ophthalmoscopes prismatiques..... 113
61. Ophthalmoscope d'Ulrich..... 114
62. Objectif à prismes pour l'usage d'un ophthalmoscope démonstratif de MM. De Wecker et Roger..... 115
63 Ophthalmoscope à deux observateurs de Sichel..... 116
64. Ophthalmoscope à trois observateurs de Monoyer..... 116
Bibliographie..... 118

CHAPITRE IX

MIROIRS ELLIPTIQUES

65. Définition..... 119
66. Courbure de la face antérieure de la cornée..... 119
67. Rayon de courbure de l'ellipse..... 125
68. Rayon de courbure de la cornée..... 128
69. Images de Purkinje ou de Sanson..... 131
70. Kératoscopie..... 136
Bibliographie..... 141

CHAPITRE X

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES MIROIRS

71. Composition des miroirs..... 143
72. Genre de courbure..... 144
73. Diamètre..... 146
74. Rayon de courbure..... 148
75. Trou du miroir..... 151
76. Application des images fournies par les miroirs à la détermination de la réfraction de l'œil observé..... 152
Bibliographie..... 154

CHAPITRE XI

LUMIÈRE RÉFRACTÉE

77. Définition 155
78. Indice de réfraction 155
79. Effets résultant de la coïncidence de deux rayons lumineux dans un même milieu 157
80. Réfraction à travers un milieu limité par deux surfaces planes et parallèles 158
81. Ophthalmomètre d'Helmholtz 160
82. Réfraction à travers une surface sphérique 162
83. Foyer principal 164
84. Formule $\frac{F}{p} + \frac{F'}{p'} = 1$ 165
85. Longueur de l'œil amétrope 166
86. Formule $ll' = FF'$ 169
87. Phakomètre Badal 170
88. Réfraction à travers plusieurs milieux réfringents, séparés par des surfaces sphériques parfaitement centrées 175
89. Longueur du globe oculaire normal 178
Bibliographie 179

CHAPITRE XII

DES LENTILLES EN GÉNÉRAL

90. Définition 180
91. Axe principal. Axe secondaire 181
92. Centre optique 181
93. Points nodaux 183
94. Foyer principal 186
95. Foyers conjugués 187
96. Mesure de la longueur focale principale 187
97. Relation entre le point lumineux et son foyer conjugué 188
98. Images fournies par les lentilles 191
99. Déplacement parallactique 192
100. Relation entre la grandeur de l'objet et son image 198
101. Grossissement de la loupe 202
102. Phakomètre de Snellen 210
103. Cercles de diffusion 211
104. Optomètre de Scheiner 213
105 Optomètre de Stampfer 215
106. Lunette sténopéique 216
107. Mesure des cercles de diffusion et du diamètre de la pupille 217
Bibliographie 219

CHAPITRE XIII

NUMÉROTAGE DES LENTILLES

108. Système duodécimal 220
109. Inconvénients du système duodécimal 221

110. Nécessité d'une réforme 223
111. Système métrique 225
112. Comparaison des deux systèmes 225
113. Détermination de la distance focale 226
114. Passage d'un système à l'autre 227
Bibliographie 232

CHAPITRE XIV

RÉFRACTION A TRAVERS UN SYSTÈME DE DEUX LENTILLES

115. Utilité de cette étude 233
116. Relation entre le foyer conjugué et la distance focale des deux lentilles 233
117. Relation entre la grandeur de l'objet et la seconde image 240
118. Conclusions 241

CHAPITRE XV

DÉTERMINATION DE LA RÉFRACTION DE L'ŒIL PAR L'EXAMEN OPHTHALMOSCOPIQUE DE L'IMAGE RENVERSÉE

119. Application de l'image renversée à la détermination de la réfraction de l'œil observé 243
120. Distance de l'image renversée à la lentille 243
121. Grossissement de l'image renversée 247
122. Influence des déplacements de la lentille sur la grandeur de l'image renversée 249
123. Ophthalmoscope de Schneller 252
124. Micromètre de Giraud Teulon 252
125. Ophthalmoscope de Schmidt-Rimpler 253
Bibliographie 258

CHAPITRE XVI

DÉTERMINATION DE LA RÉFRACTION DE L'ŒIL PAR L'EXAMEN OPHTHALMOSCOPIQUE DE L'IMAGE DROITE

126. Historique 259
127. Notions générales 260
128. Observateur emmétrope 262
129. Observateur hypermétrope 264
130. Observateur myope 269
Bibliographie 274

CHAPITRE XVII.

OPHTHALMOSCOPES A RÉFRACTION

131. Ophthalmoscopes à réfraction 275
132. Disque de Rekoss 275

133. Ophthalmoscope Loring 277
134. Ophthalmoscope Knapp 277
135. Ophthalmoscope métrique De Wecker 279
136. Ophthalmoscope Landolt 280
137. Ophthalmoscope Badal 282
138. Ophthalmoscope Meyer 283
Bibliographie 284

CHAPITRE XVIII

OPTOMÈTRES

139. Définition 285
140. Optomètre Burow 285
141. Optomètre de Graefe 286
142. Grossissement de la lunette de Galilée 287
143. Optomètre de Perrin 290
144. Optomètre Badal 291
145. Optomètre Loiseau 294
146. Optomètre De Wecker 296
147. Procédé optométrique de l'auteur 297
148. Réflexions 300
Bibliographie 302

CHAPITRE XIX

PRISMES

149. Définition 303
150. Action des prismes 303
151. Relation entre l'angle de déviation du prisme et son angle de réfringence 304
152. Influence de la rotation du prisme sur la position de l'image virtuelle 306
153. Prisme mobile 308
154. Diagnostic de la vision binoculaire 310
155. Insuffisance d'action musculaire 311
156. Prisme de Berlin 313
157. Diagnostic de la prédisposition à la myopie 314
158. Simulation de l'amaurose unilatérale 315
159. Ophthalmomètre Landolt 317
160. Ophthalmoscope binoculaire de Giraud Teulon 318
Bibliographie 321

CHAPITRE XX

LENTILLES CYLINDRIQUES

161. Définition 322
162. Vérification des lentilles cylindriques 322
163. Réfraction par les lentilles cylindriques 323

164. Influence de la rotation du cylindre sur la réfraction 324
165. Lentilles de Stokes..... 326
166. Instrument du Dr Lawrence 328
Bibliographie 328

CHAPITRE XXI

ASTIGMATISME

167. Définition..... 329
168. Division..... 330
169. Intervalle focal de Sturm 330
170. Fente sténopéique de Donders..... 332
171. Degré de l'astigmatisme..... 333
172. Examen ophthalmoscopique de la papille d'un œil astigmatique. 335
173. Astigmomètre de Bravais..... 336
174. Correction de l'astigmatisme 337
Bibliographie..... 339

CHAPITRE XXII

ACCOMMODATION. RÉFRACTION

175. Observation..... 340
176. Punctum proximum..... 340
177. Influence de l'âge sur le punctum proximum..... 342
178. Influence de l'amétropie sur le punctum proximum..... 343
179. Punctum remotum..... 344
180. Amplitude de l'accommodation..... 347
181. Presbytie..... 351
Bibliographie..... 354
TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES..... 355
TABLE ALPHABÉTIQUE DES NOMS D'AUTEURS..... 359

TRAITÉ
D'OPTIQUE
CONSIDÉRÉE DANS SES RAPPORTS
AVEC
L'EXAMEN DE L'ŒIL

CHAPITRE I

—

EXAMEN DE L'ŒIL EN GÉNÉRAL

1. Considérations historiques. — Autrefois, l'examen physique de l'œil se bornait à constater *de visu* les lésions de cet organe. Plus tard on comprit la nécessité de se servir d'instruments d'optique pour rendre plus visibles les parties superficielles que l'on voulait observer.

Les notions d'optique ne faisaient pas défaut; mais reléguées dans des traités spéciaux, employées seulement par les auteurs qui s'occupaient de la physiologie de la vision, elles n'étaient nullement appliquées à l'examen des fonctions de l'œil et au diagnostic de ses lésions.

Ce n'est qu'en 1836 que Sanson utilise le premier les découvertes de Purkinje pour le diagnostic de la cataracte et de l'amaurose. En 1823, Purkinje avait signalé que la cornée et les deux faces du cristallin, jouant le rôle de miroirs, produisaient chacune une image de la flamme d'une bougie. La recherche de ces trois images fut appliquée par Sanson au diagnostic de la cataracte.

« Nous avons imaginé, dans ces derniers temps, dit-il,

un moyen que nous n'avons pas encore trouvé en défaut, et qui, s'il est justifié par des observations ultérieures, nous paraît très propre à faire reconnaître le siége de la transparence ou du trouble des milieux que doit traverser la lumière. Quand on présente une bougie allumée devant un œil transparent dont la pupille est bien dilatée, l'on aperçoit trois images de la flamme : les deux extrêmes, c'est-à-dire la plus antérieure et la plus postérieure, sont directes ; la moyenne est renversée. L'image renversée ou moyenne est reflétée par la face postérieure du cristallin, la postérieure qui est droite est produite par la face antérieure du cristallin, et l'antérieure qui est droite aussi appartient à la cornée; d'où il suit que la cornée et le cristallin suffisent pour la production de ces trois images; que si le feuillet antérieur de la capsule est opaque, on ne verra qu'une image droite; que si au contraire le segment postérieur de la capsule est opaque, on en verra deux droites; s'il est opaque et suffisamment poli, on en aura trois placées dans l'ordre indiqué ci-dessus. Ainsi donc, quand un trouble dans la vision coïncidera avec l'existence d'une ou de deux lumières seulement, on pourra, nous le croyons du moins, conclure à la présence d'une cataracte, tandis que s'il y a trois images de la lumière, on pourra conclure à l'existence d'une amaurose. »

Les moyens d'investigation qui sont à notre disposition nous dispensent d'avoir recours au procédé de Sanson, procédé d'une application difficile et d'un résultat souvent douteux. Ce n'est pas à dire pour cela que l'étude des images de Purkinje soit entièrement abandonnée, mais cette étude est plus particulièrement réservée à l'appréciation du rôle que jouent la cornée et le cristallin dans l'accommodation.

Dans l'ouvrage de Carron du Villards, nous trouvons la mention de miroirs creux pour l'examen de l'œil. Carron du Villards appelait ces miroirs des ophthalmoscopes et s'en

servait pour grossir les détails et éviter les reflets lumineux fournis par la cornée. « Il est convenable, dit-il, de se placer derrière le malade, tandis qu'il regarde dans un miroir oculaire ou ophthalmoscope; de cette manière on juge très bien l'état de l'œil sans craindre les reflets lumineux. La lumière artificielle n'est préférable à la naturelle que dans les cas où il est nécessaire d'étudier l'état de l'humeur vitrée et de la rétine, en faisant brusquement refléter le corps lumineux dans les différents points de l'anfractuosité oculaire. »

Carron du Villards, qui était si près de la découverte de l'ophthalmoscope, ne tira aucun parti des conseils qu'il donnait, car son ouvrage n'en fait connaître aucune application au diagnostic des lésions oculaires.

En 1851, la découverte de l'ophthalmoscope par Helmholtz est venue modifier nos connaissances sur les lésions intra-oculaires et appeler l'attention sur la physique oculaire, car l'œil n'est en réalité qu'un instrument d'optique, et, comme le dit Lecat, cet organe est un prodige de dioptrique que l'art le plus parfait n'a pu encore imiter que de loin.

Pour examiner sérieusement et avec fruit l'œil considéré comme instrument d'optique, des notions de physique sont nécessaires et absolument indispensables. Ce sont ces notions que nous nous proposons de développer, en n'oubliant pas que c'est seulement au point de vue de l'examen de l'œil que nous devons les étudier.

Avant d'aborder les notions d'optique, il nous a paru utile d'émettre quelques considérations sur quelques particularités de l'examen de l'œil. Ces considérations succinctes dont on trouvera une plus ample démonstration dans le cours de l'ouvrage, permettront de mieux saisir la valeur des problèmes d'optique que nous aurons exposés.

2. Acuité de la vision. — Il ne faut pas confondre

l'acuité de la vision, qui est le sens de la forme, avec la faculté de la perception.

Une personne atteinte de cataracte complète a très bien la sensation d'un point lumineux lorsqu'on place devant ses yeux la flamme d'une bougie ou d'une lampe; c'est l'indice que sa rétine a conservé la faculté de la perception lumineuse. Ce n'est pas là l'acuité de la vision, car cette personne ne distingue aucun des objets qui l'entourent. Il en est de même des amaurotiques chez lesquels la perception lumineuse persiste, alors que l'acuité de la vision a complètement disparu.

M. Landolt a très bien fait ressortir cette différence entre l'acuité visuelle et la perception lumineuse. « Ce n'est pas simplement, dit-il, la plus petite image rétinienne perçue qui donne la mesure de l'acuité visuelle, mais celle dont la forme est reconnue. La plus petite image rétinienne, en effet, est un point dont la perceptibilité dépend uniquement de son intensité lumineuse. Un point lumineux mesure, par conséquent, non point l'acuité visuelle, la distinction des formes, mais la perception lumineuse, la faculté que possède la rétine de distinguer les différences de clarté. »

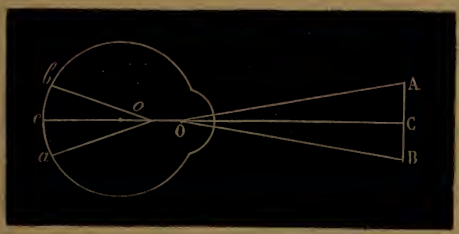
L'acuité de la vision peut donc être définie le minimum perceptible d'une image rétinienne, non réduite à un point unique, ou, comme le dit M. Landolt, la plus petite image dont on puisse encore percevoir la forme.

Pour calculer ce minimum, c'est-à-dire pour déterminer l'acuité visuelle, nous avons recours à un procédé analogue à celui employé pour l'exploration de la sensibilité cutanée. Quand il s'agit de la peau, on recherche la distance minimum entre deux pointes de compas, donnant une sensation double. Pour la sensibilité de la rétine, on recherche aussi une distance minimum, celle qui existe entre deux rayons lumineux qui, venant frapper la rétine, procurent une double sensation. Cette distance minimum est en rapport

avec le plus petit angle sous lequel l'œil peut distinguer un objet. Elle est aussi, toutes choses égales d'ailleurs, en rapport avec la position du second point nodal de l'œil observé.

L'angle se calcule de la manière suivante :

Fig. 1.



A B, objet. — C*c*, axe visuel. — O, point nodal antérieur de l'œil. — *o*, point nodal postérieur. — *ab*, image rétinienne.

Un objet AB, s'il est nettement vu, forme une image *ab* sur la rétine *(fig. 1)*.

La ligne AB étant perpendiculaire à l'axe visuel OC, on a pour la valeur de l'angle O,

$$\text{Tang}\tfrac{1}{2}\text{O} = \frac{\text{AB}}{2.\text{OC}}.$$

D'un autre côté, à cause de l'égalité des deux angles O et *o*, nous avons pour la grandeur de l'image rétinienne *ab*,

$$ab = \frac{\text{AB}}{\text{OC}.oc},$$

et en tenant compte de la première équation,

$$ab = oc.2\,\text{Tang}\tfrac{1}{2}\text{O}.$$

Si *ab* est la plus petite image qui puisse être perçue par un œil normal, faut-il prendre pour point de départ la valeur de l'angle ou bien l'étendue elle-même de l'image?

En ne tenant compte que de la valeur de l'angle O, nous serons exposés à des erreurs, car nous aurons mesuré non pas l'acuité absolue de la vision, mais l'acuité relative, comme l'a fait observé Donders. En effet, la valeur de l'angle O dépend de la grandeur de l'objet AB, et de sa distance OC au premier point nodal de l'œil. Pour des angles semblables O et *o*, l'image de la rétine peut varier d'étendue, car elle est sous la dépendance de la distance *oc*, du second point nodal à la rétine. On voit par là et par l'équation que nous avons donnée, que l'angle *o* restant constant, l'image *ab* sera d'autant plus grande que le point nodal postérieur *o* sera plus éloigné de la rétine et *vice versâ*. Or, d'après notre définition, c'est la grandeur de cette image qui doit nous servir à déterminer l'acuité de la vision. C'est donc l'image rétinienne que nous devons prendre comme point de départ.

Il n'en a pas toujours été ainsi, car pendant assez longtemps on a pris pour base la valeur de l'angle visuel minimum.

Les recherches faites sur la manière dont sont vues deux étoiles voisines ont conduit à ce résultat, que lorsque l'angle visuel est inférieur à 1′, les deux étoiles se confondent et ne paraissent en faire qu'une seule. Des expériences faites par plusieurs auteurs ont conduit aux mêmes résultats. L'angle de 1′ a donc été regardé comme le minimum de l'angle qui donne sur la rétine une image visible et distincte de deux points aussi rapprochés que possible. Cette image minimum a un diamètre d'environ 4 millièmes de millimètre de diamètre, et comme les cônes de la rétine ont une base qui mesure environ 3 millièmes de millimètre, on en a conclu que les cônes étaient les éléments de la perception visuelle.

L'angle minimum étant pris pour unité, comment faut-il mesurer l'acuité visuelle des différents cas qui peuvent se présenter?

Tangente $\frac{1}{2}$ O représentant l'angle unité, l'équation unité sera, comme nous l'avons vu,

$$\text{Tang}\,\tfrac{1}{2}\,\text{O} = \frac{\text{AB}}{2.\text{OC}}.$$

Si l'œil, pour voir nettement l'objet A B, est obligé de s'approcher de manière à ce que la distance O C devienne m; l'angle O deviendra n, et nous aurons pour ce cas :

$$\text{Tang}\,\tfrac{1}{2}\,n = \frac{\text{AB}}{2m}.$$

Comme les angles O et n sont très petits, on peut les substituer à leurs tangentes, et en divisant membre à membre ces deux équations, nous obtenons pour le rapport entre ces deux angles :

$$\frac{\text{Angle}\,\frac{1}{2}\,\text{O}}{\text{Angle}\,\frac{1}{2}\,n} = \frac{m}{\text{OC}}.$$

Cette équation nous montre que la distance m, à laquelle l'œil a été placé pour voir l'objet A B, divisée par la distance O C à laquelle cet objet doit être placé pour donner l'acuité normale, indique le rapport entre les deux angles et par suite la valeur de l'acuité de l'œil observé. C'est ce que l'on désigne dans tous les traités par la formule suivante :

$$\text{V} = \frac{d}{\text{D}},$$

V étant l'acuité de la vision, d la distance m à laquelle l'objet est vu, et D la distance O C à laquelle l'objet doit être placé pour que l'acuité soit normale. Si $d = \text{D}$, V devient 1; dans ce cas l'acuité est normale.

Nous avons dit que l'angle unité était l'angle de 1'. Dans la pratique médicale, où l'on n'a pas besoin de l'acuité visuelle maximum, mais d'une acuité visuelle moyenne aux âges de la vie, on a pris un angle plus élevé :

2'15", Burchardt; 5', Snellen; 6', Longmore. L'angle de 5' qui fait la base de l'échelle Snellen est le plus employé.

Les épreuves typographiques destinées à la mesure de l'acuité de la vision portent le nom d'*échelles* ou de *lettres témoins*. Ces échelles se composent de lettres ou de points de différentes grandeurs. Chaque série donne l'indication de la distance à laquelle elle doit être lue pour que l'acuité soit égale à 1. Les premières échelles (Giraud Teulon, Snellen) furent disposées conformément au système duodécimal; les dernières, en harmonie avec le système métrique, sont celles de Snellen, Monoyer et de Wecker.

Dans celle de Snellen, le numéro indique la distance à laquelle les caractères doivent être vus pour donner l'acuité normale. Celle de Monoyer est construite de façon à ce que les numéros des lettres qui sont reconnues à 5 mètres de distance, correspondent à des différences de dixièmes pour l'acuité visuelle. Pour celle de Wecker, le numéro est seulement un ordre de classement, portant à côté l'indication de la distance où ce numéro doit être lu pour obtenir l'acuité normale.

Pour déterminer l'acuité de la vision à l'aide de l'échelle de Wecker, par exemple, l'accommodation étant supposée au repos et l'œil emmétrope, on fait lire au malade la série de lettres la plus petite et à une grande distance, pour mettre l'accommodation au repos. Cette distance *d*, divisée par la distance D indiquée sur l'échelle, donne le degré de l'acuité.

Exemple. — Un malade dont l'accommodation est au repos et l'œil emmétrope, ne peut lire qu'à 2 mètres de distance le numéro 9 de l'échelle de Wecker qui doit être lu à 4 mètres. L'acuité de ce malade sera, d'après la formule,

$$V = \frac{d}{D} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2},$$

c'est-à-dire la moitié de celle d'un œil normal.

Les échelles typographiques se composent de lettres, de points ou de figures; de lettres pour les personnes qui savent lire; de points ou de figures pour les enfants et les personnes illettrées.

En ce qui concerne les lettres, le choix des types n'est pas indifférent, car tous les types et même toutes les lettres d'un même type ne sont pas lues avec la même facilité.

Les lettres gothiques, employées par les Allemands, sont proportionnellement moins distinctes que nos caractères ordinaires désignés souvent sous le nom de lettres latines.

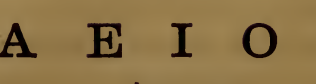
M. Green n'emploie pas toutes les lettres de l'alphabet. « L'uniformité absolue de grandeur entre les différentes lettres de l'alphabet est, dit-il, impossible à atteindre : C, G, I, J et O ont, par leur forme, une aire exceptionnellement étroite, tandis que M et W l'ont exceptionnellement large. B et G, par leur forme, sont quelque peu difficiles à reconnaître à cause de la multiplicité de leurs éléments horizontaux, tandis que Q, vu la particularité de sa configuration, ne peut guère figurer parmi les lettres types. Quant aux seize lettres restantes : A, D, E, F, H, K, L, N, P, R, T, U, V, X, Y et Z, on peut, sans faire grande violence aux règles d'une bonne proportion, les considérer comme ayant les mêmes dimensions. La forme de l'une est aussi facile à distinguer que celle de l'autre. »

Les types adoptés par Snellen consistent en un carré sous-divisé en 25 ou 30 carrés plus petits, carré dans lequel la lettre est disposée. Chaque petit carré sous-tend un angle d'une minute et le carré entier un angle de cinq minutes. Cependant toutes les lettres de Snellen n'ont pas la même disposition, car il y en a de plus grandes les unes que les autres. Malgré cette inégalité, ces échelles sont les plus répandues.

Quelle forme de lettres faut-il adopter?

Il est des auteurs (Snellen et Landolt) qui préfèrent les lettres égyptiennes

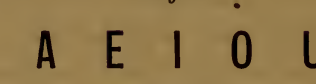
Fig. 2.



Égyptiennes.

aux lettres antiques,

Fig. 3.

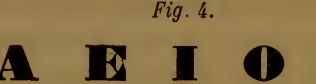


Antiques étroites.

parce que leur forme compliquée peut devenir un moyen de contrôle. En effet, avec un astygmatisme régulier, les lettres compliquées sont désignées avec des défauts si constants que l'astygmatisme peut être diagnostiqué :

Suivant M. Javal, les lettres normandes

Fig. 4.



Normandes.

sont à un faible éclairage mieux distinguées que les autres caractères.

Malgré toutes ces judicieuses observations, on emploie en général les caractères ordinaires sans exclusion d'aucune lettre, comme le conseille Green, mais comme le font observer Snellen et Landolt : si les lettres faciles à lire sont très bien lues et les lettres difficiles moins bien, on ne force pas la fraction :

$$V = \frac{d}{D}.$$

Exemple. — Un individu est placé à 2 mètres de distance pour voir un caractère qui doit être lu à 5 mètres. Son

acuité serait $\frac{2}{5}$ ou $\frac{8}{20}$. Si certaines lettres ont été très mal vues, on admettra pour l'acuité $\frac{7}{20}$ au lieu de $\frac{8}{20}$, c'est-à-dire une fraction moindre.

Jusqu'ici nous ne nous sommes occupés que de l'acuité de la vision chez les individus dont la réfraction est normale, mais dans la pratique, il faut tenir compte des yeux myopes ou hypermétropes. Pour mesurer l'acuité de la vision chez ces individus, il faut donc corriger leur amétropie à l'aide de verres convenables.

Il est évident qu'un myope placé en face d'un caractère typographique destiné à être lu à une distance de 5 mètres, par exemple, ne distinguera absolument rien, et cependant son acuité peut être normale. L'œil observé myope devra être muni d'un verre concave qui neutralise sa myopie. Le numéro du verre qui permettra la lecture à la plus grande distance indiquera le degré de la myopie et l'on mesurera ensuite l'acuité comme pour un œil normal.

Exemple. — Un myope lit avec un verre concave — 8 (ancien système) ou — 5 dioptries (système métrique), à cinq mètres de distance, un caractère destiné à être lu à cette distance. Son acuité sera normale et sa myopie sera — 8 ou — 5 suivant le système employé. Si avec le même verre, il ne peut pas lire ce caractère, mais un caractère plus petit, son acuité sera plus faible.

L'accommodation et les verres de lunettes exercent une certaine influence sur la position du second point nodal de l'œil. Avec des verres convexes, ce point avance; il recule au contraire avec des concaves. Dans le premier cas, l'image rétinienne est agrandie, et dans le second, elle est plus petite.

Pour éviter l'influence de l'accommodation, on place le malade observé à une grande distance des lettres : 5, 6 mètres, s'il est possible.

Quant à l'influence des verres de lunettes, on la néglige souvent dans la pratique, car de l'avis de Woinow et de Knapp, on peut en faire abstraction dans beaucoup de cas.

Dans l'appréciation de l'acuité de la vision, il faut tenir compte de l'âge, car cette fonction diminue avec l'âge et voici dans quelle proportion, l'œil étant normal.

AGE.	ACUITÉ DE LA VISION.
20 ans	1,1
40 ans	1,0
50 ans	0,9
60 ans	0,8
70 ans	0,7
80 ans	0,6

Enfin, il faut tenir compte de l'intensité de la lumière employée; nous examinerons cette question plus en détail à l'article *intensité de la lumière.*

Pour donner une idée de la disposition des échelles typographiques destinées à la mesure de l'acuité de la vision, nous avons fait dresser les tableaux suivants, en cherchant à reproduire autant que possible l'échelle métrique du Dr L. de Wecker :

— A —

Correspondant au nº 7 de l'échelle métrique du Dr L. de Wecker, et devant être lu à 2 mètres pour donner une acuité normale.

Un peu avant l'équinoxe d'automne, Tirtée, berger d'Arcadie, faisait paître son troupeau sur une croupe du mont Lycée qui s'avance le long du golfe de Messénie. Il était assis sous des pins, au pied d'une roche, d'où il considérait au loin la mer agitée par les vents du midi. Ses flots, couleur d'olive, étaient blan-

— B —

Correspondant au n° 8 de l'échelle métrique du Dr L. de Wecker, et devant être lu à 3 mètres pour donner une acuité normale.

chis d'écume qui jaillissait en gerbes sur toutes ses grèves. Des bateaux de pêcheurs, paraissant et disparaissant tour à tour

— C —

Correspondant au n° 9 de l'échelle métrique du Dr L. de Wecker, et devant être lu à 4 mètres pour donner une acuité normale.

entre les lames, hasardaient, en s'échouant sur le rivage, d'y

— D —

Correspondant au n° 10 de l'échelle métrique du Dr L. de Wecker, et devant être lu à 5 mètres pour donner une acuité normale.

chercher leur salut, tandisque des vaisseaux à la voile, etc.

3. Ophthalmoscopie. — Le mot *Ophthalmoscopie* vient du grec ὀφθαλμος, *œil,* et σκοπια, *observation* ou *action d'observer.* Cette étymologie fixe nettement le sens de ce mot, en indiquant qu'il s'agit de l'examen de l'œil.

Dans le Dictionnaire de MM. Robin et Littré, on trouve une autre définition. D'après ces auteurs, l'*ophthalmoscopie* serait non seulement la science d'examiner l'œil, mais aussi l'art de reconnaître le tempérament d'un individu par l'examen des yeux. Rien ne justifie cette interprétation, si l'on s'en rapporte à l'origine grecque.

En 1847, M. Tavignot définit ainsi l'*ophthalmoscopie :* « l'art d'observer les maladies des yeux. »

Dès l'année 1851, en présence des progrès de la science, ce mot, sans rien perdre de sa signification générale, fut plus particulièrement employé pour désigner l'ensemble des moyens physiques qui servent à l'examen de l'œil.

L'examen de l'œil au moyen des agents physiques constitue un très vaste champ. La nécessité d'établir des divisions ne tarda pas à se faire sentir. En effet, l'examen des courbes

de l'œil, des fonctions visuelles, des lésions de la cavité oculaire, se faisait par des procédés différents et à l'aide d'instruments construits d'après des principes divers de physique. Il fallut donc établir des divisions, et le mot *ophthalmoscopie* perdit peu à peu de sa signification première qui était très vaste et très étendue. Le nom d'*ophthalmoscopie* fut réservé à l'examen de la cavité oculaire à l'aide de l'*ophthalmoscope*.

Les phénomènes perçus à l'aide de cet instrument sont désignés sous le nom de *symptômes ophthalmoscopiques*, et l'instrument qui permet de les constater a reçu deux noms : *miroir oculaire* à cause de sa construction physique, et *ophthalmoscope*, car il est par excellence un parfait moyen pour examiner la cavité oculaire.

Comment l'ophthalmoscope a-t-il été découvert?

Dans la description de la plupart des maladies, l'historique n'a qu'une importance secondaire. Il fait connaître les doctrines et les individus qui les ont professées. Au point de vue pratique, il constitue un chapitre de pure curiosité. S'il en était ainsi de l'ophthalmoscope, on pourrait sans aucun inconvénient ne pas s'en occuper. Mais cet historique a une valeur capitale, parce qu'il apprend la manière dont la cavité oculaire est rendue visible. A ce titre, l'historique est digne de toute l'attention.

La pupille de certains animaux, le chat par exemple, de noire qu'elle est ordinairement, devient parfois lumineuse. Ce phénomène, connu sous le nom de *lueur oculaire*, est si commun qu'il est peu de personnes qui n'en aient été témoins. Ce phénomène de *lueur oculaire* a été constaté dès les temps les plus reculés et les théories ne firent pas défaut pour en expliquer la production. On émit l'opinion que les yeux des animaux développaient de la lumière sous l'influence de la colère ; d'autres prétendirent que, pendant le jour, l'œil du chat absorbe de la lumière qu'il projette au dehors quand la nuit est venue, etc.

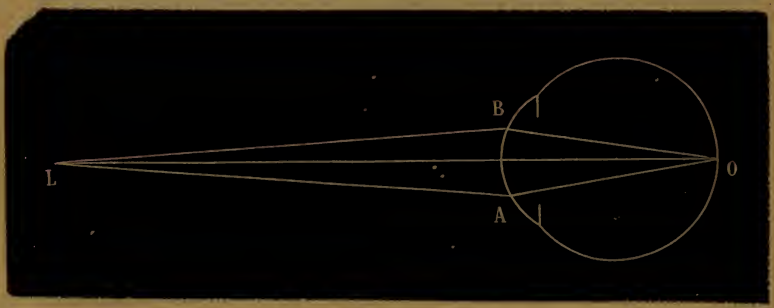
Plus tard ce phénomène fut observé chez l'homme. De là de nouvelles hypothèses, dont la connaissance ne nous intéresse guère. Les théories se succédaient, mais aucune ne résolvait la question. Cependant les choses prirent une autre tournure, le jour où la question se plaça sur un autre terrain. Au lieu de chercher pourquoi les yeux des animaux devenaient lumineux, on se demanda comment l'œil humain pouvait présenter les phénomènes de *lueur oculaire*, et la question fut ainsi posée, pourquoi la pupille est-elle noire?

Si la pupille est noire, disait-on, c'est que la lumière qui entre dans l'œil est totalement absorbée par le pigment de la choroïde et les corps qui absorbent la lumière paraissent noirs.

Cette hypothèse règnerait en maîtresse dans le monde scientifique et nul n'aurait songé à la détrôner, si la *lueur oculaire* n'avait jamais été observée. En présence de pupilles noires et pouvant devenir lumineuses, la théorie de l'absorption de la lumière par la choroïde n'avait pas de raison d'être.

Dans cette théorie, on ne s'occupait que des rayons qui pénètrent dans l'œil. Helmholtz étudia ceux qui en sortent, et ce fut le point de départ de sa belle découverte.

Fig. 5.



L, point lumineux. — O, rétine de l'œil observé.

Supposons un œil *(fig. 5)* regardant un point lumineux L. Les rayons émanés de ce point L, traversent les milieux

réfringents de l'œil et viennent faire image sur la rétine au point O. Une partie de ces rayons traverse la rétine qui est transparente et est absorbée par la choroïde, mais une autre partie de ces rayons est réfléchie au dehors de l'œil. Ces rayons réfléchis passent par les mêmes milieux qu'ils avaient traversés en entrant dans l'œil, ils y subissent par conséquent les mêmes réfractions et vont se réunir au point lumineux L. En un mot le point O de la rétine et le point lumineux L sont deux foyers conjugués, l'image de la lumière est sur la rétine et l'image de la rétine est au point lumineux.

Voilà la théorie bien simple de la marche des rayons lumineux dans l'œil. Cette théorie n'est que l'application du principe de physique suivant :

Lorsque deux rayons lumineux traversent, en sens contraire, un nombre quelconque de milieux uniréfringents et que, dans l'un de ces milieux, ils se confondent en une même droite, ils se confondent également dans tous les autres milieux. Ce principe, nous le démontrerons plus tard.

De cette théorie, passons à l'explication de la coloration noire ou lumineuse de la pupille.

Quand nous examinons la pupille d'une personne, cette personne fixe notre œil ou regarde ailleurs.

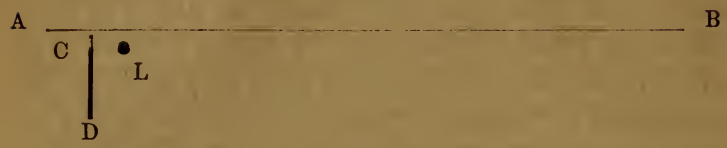
Si elle fixe notre œil, l'image de notre pupille se forme sur sa rétine et cette image vient se reproduire sur notre pupille, de sorte que dans ce cas nous n'observons que le reflet de notre pupille qui est noire.

Si cette personne regarde ailleurs, comme notre œil n'est pas sur le trajet des rayons qui entrent et sortent de l'œil observé, la pupille nous paraît noire parce que notre œil ne reçoit aucun de ces rayons.

Si nous plaçons notre œil sur le trajet des rayons lumineux qui pénètrent dans l'œil observé, alors la pupille de cet œil observé nous paraîtra lumineuse.

On peut facilement se convaincre de la vérité de cette dernière assertion en procédant ainsi :

Fig. 6.



A, œil observateur. — B, œil observé. — C D, écran opaque. — L, lumière.

L'œil observé B *(fig. 6)*, dont la pupille doit être dilatée pour la facilité et la netteté de l'expérimentation, fixe un point lumineux L, une bougie ou une lampe ; l'œil de l'observateur A fixe l'œil B, en plaçant en arrière de la lumière L un écran opaque C D, dont le bord supérieur C affleure la flamme de la lumière L. L'observateur A regarde l'œil B, en mettant son œil près du bord supérieur de l'écran. Dans cette expérience, que j'ai faite en 1869 à l'École de médecine, lors de mon cours sur l'ophthalmoscopie, toutes les conditions se trouvent réunies, pour que la pupille de l'œil observé paraisse lumineuse. En effet l'œil A se trouve sur le trajet des rayons lumineux qui pénètrent dans l'œil B et par suite sur le trajet des rayons qui sortent de cet œil B. Dans cette expérience, la pupille observée prend une teinte rouge. Je n'ai pas besoin d'ajouter que cette expérience doit être faite dans un appartement obscur.

Telle est l'origine de la découverte de l'ophthalmoscope, c'est-à-dire du moyen d'éclairer la cavité oculaire.

Ces particularités connues, il ne reste plus qu'à construire des instruments pour diriger à volonté les rayons lumineux, de là la confection de nombreux ophthalmoscopes sur lesquels nous aurons à dire quelques mots. Mais auparavant il est utile de ne pas abandonner la question de la marche des rayons dans l'œil, parce que la connaissance de cette marche est importante pour bien comprendre le mécanisme des moyens ophthalmoscopiques.

Nous verrons que tout objet situé d'un côté d'une lentille convergente et au delà de sa distance focale, produit une image renversée de l'autre côté de la lentille. Pour vérifier cette assertion, il suffit de prendre une bougie allumée, une feuille de papier et une lentille convexe. Plaçons ces trois objets sur une même ligne horizontale dans l'ordre suivant : la bougie, la lentille et la feuille de papier. Dans ces conditions, on voit sur la feuille de papier l'image renversée de la flamme. Cette image est appelée *réelle* parce que son existence est réelle.

Ce phénomène physique se produit aussi avec l'œil où la cornée, par sa forme et l'humeur aqueuse, le cristallin, le corps vitré, par leur densité, constituent une véritable lentille convergente. Il peut être constaté directement en plaçant un corps lumineux devant un œil dont on a enlevé à la partie postérieure une portion de sclérotique et de choroïde pour rendre plus visible l'image qui se produit sur la rétine.

Cette expérience, indiquée par Lecat, se trouve signalée dans presque tous les traités de physiologie. Elle prouve que les milieux de l'œil jouent le rôle d'une lentille convexe et, par suite, toutes les propositions concernant la réfraction deviennent, dans une certaine mesure, applicables à la marche des rayons dans l'œil.

Dans les notions sur les lentilles convexes, la physique nous enseigne que le point où est la source lumineuse et le point où se trouve l'image de cette source lumineuse sont invariablement liés entre eux et constituent ce qu'on appelle les *foyers conjugués*; c'est-à-dire que si l'on place la lumière à l'endroit où était l'image, l'image occupera mathématiquement le lieu où était primitivement la lumière.

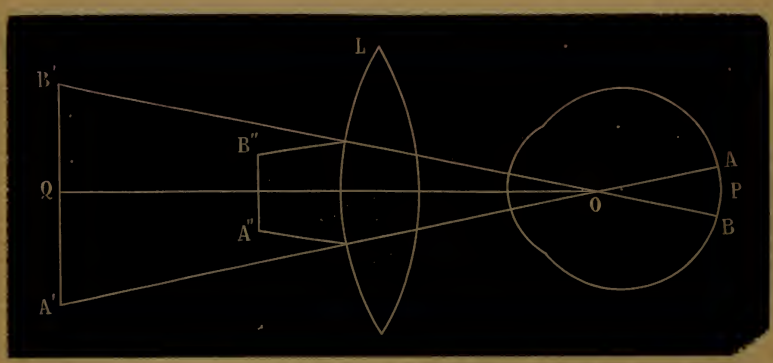
Transportant ces données à l'œil, nous en conclurons que l'objet vu par un œil forme son image sur la rétine, et réciproquement que la rétine forme son image au point où se

trouve l'objet fixé. Cette image existant en dehors de l'œil est donc *aérienne,* elle est *réelle* et *renversée.* Comme elle se trouve à l'endroit où le malade regarde s'il est clairvoyant, à l'endroit où il croit regarder s'il est aveugle, cette image est appelée pour cette raison *indéterminée.* Son siége est très variable puisqu'il dépend de l'accommodation et de la réfraction de l'œil malade, aussi cette image n'est d'aucun secours en ophthalmoscopie.

Pour parer à cet inconvénient, on emploie des lentilles convexes ou concaves.

La lentille convexe n'a pas pour but de grossir les détails comme on serait tenté de le croire. Si la lentille convexe, placée devant l'œil observé, donne une image *virtuelle* et *agrandie* des parties externes de l'œil, cils, paupières, elle donne au contraire une image *réelle* et *diminuée* de l'image formée par le fond de l'œil. Un coup d'œil jeté sur la figure 7 permettra de se rendre compte de la marche des rayons.

Fig. 7.



O, centre optique de l'œil observé. — A B, rétine. — A' B', image aérienne renversée indéterminée. — A'' B'', image renversée. — L, lentille convexe.

Soit O l'œil observé. La portion de rétine AB forme une image *aérienne* et *renversée* A'B'. Cette image, nous l'avons vu, est *indéterminée.* Si on place au devant de l'œil O une lentille convexe L, on obtient une nouvelle image *aérienne*

et *renversée* A″B″. Cette image A″B″ est, comme on le voit, plus petite que l'image A′B′. La lentille L n'a donc pas eu pour effet d'agrandir l'image A′B′, mais au contraire de la rendre plus petite. Cette image A″B″ est cependant plus grande que la partie AB de la rétine. Plus la force réfringente de la lentille L sera grande et plus l'image A″B″ sera petite, et *vice versâ*.

La lentille a ici un avantage, c'est que l'image A″B″ a un siége presque fixe, car cette image est à une distance de la lentille un peu inférieure à sa distance focale. Cette image, dont la position n'est plus sujette aux caprices du malade, s'appelle image *déterminée*. Plus tard nous étudierons en détail tout ce qui se rattache à cette image.

Si l'observateur se borne à l'examen de l'image aérienne, c'est la méthode ou le procédé par l'image renversée. Si au contraire il place son œil dans des conditions telles qu'il puisse recevoir sur la rétine les rayons lumineux venant de l'œil observé, c'est la méthode ou le procédé par l'image droite.

L'image renversée étant *réelle*, on a essayé de la photographier. Théoriquement, la chose est possible. Dans la pratique, on est allé se heurter contre deux difficultés. La première a été fournie par le reflet de la cornée, et la seconde par la trop petite quantité de lumière qui pénètre dans l'œil. Les épreuves obtenues pèchent par la netteté des contours. Je ne crois pas qu'il soit utile d'exposer la manière dont on a construit les ophthalmoscopes destinés à photographier le fond de l'œil.

Nous venons d'étudier la marche des rayons dans l'œil, ce qui nous a fait connaître les conditions dans lesquelles on peut voir le fond de la cavité oculaire. Il nous reste maintenant à parler des instruments imaginés pour atteindre ce but, ainsi que de la manière de les employer.

L'ophthalmoscospe, d'une manière générale, peut être ainsi défini : C'est un instrument qui projette des *rayons*

lumineux dans l'œil, et qui nous permet de recevoir ces mêmes rayons après qu'ils ont été réfléchis ou réfractés par les milieux de l'œil.

L'observation des rayons réfléchis constitue *l'éclairage oblique*, celle des rayons réfractés s'appelle *l'éclairage direct*.

Il y a plusieurs variétés d'ophthalmoscopes. Les uns se tiennent à la main, *ophthalmoscopes mobiles;* d'autres sont construits pour être appuyés sur une table, *ophthalmoscopes fixes*. Il y a des ophthalmoscopes où l'observateur n'emploie qu'un seul œil, *ophthalmoscopes monoculaires;* il y en a qui exigent l'emploi des deux yeux, *ophthalmoscopes binoculaires*. Enfin, il y a les *autoophthalmoscopes* qui permettent d'examiner soit son œil droit avec l'œil droit, soit son œil droit avec l'œil gauche.

Tous les ophthalmoscopes, quelle que soit leur disposition, sont constitués par une surface réfléchissante, destinée à diriger la lumière dans l'œil observé. A cela il faut ajouter dans la plupart des cas, un agent de réfraction pour modifier la marche des rayons lumineux. En un mot, miroir et lentille, telle est la base de tout ophthalmoscope.

Les miroirs varient dans leur forme et la substance qui les compose. D'après la forme, ils sont *plans, concaves* ou *convexes*. Quant aux miroirs *prismatiques*, en considérant leur manière d'agir, on peut les rapprocher des miroirs plans. Par rapport à la substance qui les compose, les uns sont en verre simple ou étamé, les autres en métal : acier, argent ou cuivre.

Les miroirs présentent à leur centre de figure un orifice pour laisser arriver la lumière dans l'œil de l'observateur. Cet orifice peut ne pas exister dans les miroirs en verre, parce que le verre est transparent.

Si nous voulions aborder les hautes questions d'ophthalmoscopie, nous aurions à étudier l'influence de la forme, de la composition et de la longueur focale du miroir sur l'intensité de l'éclairage, etc. Il nous faudrait entrer alors

dans le domaine des mathématiques. Nous arriverions à des connaissances qui ne sont pas sans valeur, mais comme elles ne sont pas absolument indispensables pour la pratique ordinaire, je les laisse de côté et je passe à la description de quelques ophthalmoscopes.

Dans cette description j'omettrai, à dessein, ce que j'appelle les accessoires, tels que les moyens de support, etc.

Je ne m'occuperai que de ce qui constitue réellement l'instrument.

Le premier ophthalmoscope inventé est celui d'Helmholtz. C'est un miroir plan en verre non étamé. C'est le plus simple et le plus élémentaire de tous, car il est formé par la juxtaposition de trois lames de verre.

L'ophthalmoscope de Coccius est un miroir plan en verre étamé, et percé d'un trou à son centre. Pour augmenter l'intensité de l'éclairage, on fait arriver la lumière sur le miroir au moyen d'une lentille convexe.

L'ophthalmoscope de Zehender est un miroir métallique convexe, avec une lentille convexe pour augmenter l'intensité de l'éclairage, comme dans le miroir de Coccius.

Ruete est le premier qui ait employé le miroir concave. Tant de noms propres ont été attachés aux différents miroirs de cette forme, qu'il est difficile de faire la part de chacun des inventeurs qui ont succédé à Ruete.

L'ophthalmoscope de Nachet est fixe. Il se compose de deux tubes qui s'emboîtent. A l'une des extrémités est un miroir concave, mobile autour d'un axe vertical. A l'autre extrémité est une lentille convexe.

L'ophthalmoscope de Galezowski se compose de deux tubes mobiles. A l'une des extrémités est placé un miroir concave. L'autre extrémité est garnie d'un bourrelet, et elle est taillée de façon à se modeler autour de l'œil observé. Une lentille convexe est placée dans l'intérieur. La lentille concave placée en arrière du miroir n'a pas de raison d'être.

De tous les ophthalmoscopes, le plus savant et celui qui rend souvent de très grands services, c'est celui de M. Giraud Teulon. Cet ophthalmoscope est binoculaire. Il se compose d'un miroir concave en verre étamé, derrière lequel sont placés deux rhomboèdres destinés à doubler l'image rétinienne et deux prismes pour amener la fusion de cette double image, comme dans le stéréoscope.

De tous ces instruments, quel est le meilleur? Règle générale, plus l'instrument est simple, et meilleur il est pour la pratique ordinaire.

Les ophthalmoscopes mobiles à miroir concave l'emportent en général sur tous les autres, aussi ces ophthalmoscopes sont-ils les plus répandus. Ces instruments permettent de suivre facilement les mouvements du malade. Ils peuvent être employés pour les modes d'éclairage oblique ou direct, et pour les deux méthodes, image droite et image renversée. Cependant pour l'image droite, ils n'ont pas l'avantage des miroirs plans.

Les miroirs plans sont peu avantageux pour obtenir l'image renversée, ils ne donnent pas assez de lumière. Ils conviennent dans l'examen des milieux réfringents et pour l'étude de l'image droite. L'ophthalmoscope à lames non étamées de Helmholtz ne réfléchit qu'une partie de la lumière. Cependant, pour l'étude de l'image droite, il peut être employé avec avantage. « Un œil sain, dit Helmholtz, peut supporter pendant des heures, sans en être ébloui, l'éclairage que donne ce miroir. C'est ainsi qu'il m'est souvent arrivé de montrer successivement, avec cet instrument, ma rétine à vingt étudiants, sans éprouver d'incommodité, tandis que l'œil ne peut guère supporter, pendant cinq minutes, l'éclairage au moyen des miroirs étamés sans être fortement ébloui. Aussi je préfère ce miroir aux autres pour la plupart des expériences physiologiques. »

Les miroirs convexes employés seuls sans lentille collective pour augmenter l'intensité de l'éclairage,

donnent peu de lumière, comme les miroirs plans. Ils ne peuvent donc être employés principalement que lorsque la source lumineuse est très intense et qu'il y a intérêt à en diminuer l'intensité. C'est pour cette raison que Macdonald de New-York a choisi cette forme de miroir quand il a conseillé de se servir de la lumière du soleil comme source lumineuse.

Les ophthalmoscopes fixes ont des avantages restreints à des conditions particulières. Ils exigent, comme conditions premières, l'immobilité de la tête du malade et la fixité du regard. Si l'observé est atteint d'une trop grande diminution de la vision, l'examen devient difficile, quelquefois même impossible, à cause des variations incessantes dans les positions de l'œil.

Ces ophthalmoscopes, quand ils peuvent être employés, sont très utiles pour prendre des dessins des lésions observées. Leur utilité n'est pas moins grande dans une clinique, où il s'agit de montrer une lésion en peu de temps à beaucoup d'élèves. Ce mode expéditif, qui paraît si bien adapté aux études, n'a que l'avantage de montrer une lésion et n'apprend nullement l'élève à se servir lui-même d'un ophthalmoscope portatif, le seul qui lui sera convenable dans sa pratique.

L'ophthalmoscope de Galezowski a l'inconvénient des ophthalmoscopes fixes. Son utilité consiste à permettre l'examen dans un endroit éclairé et quelle que soit la position du corps de l'observé.

L'ophthalmoscope de Giraud Teulon donne la sensation du relief. C'est un immense avantage quand il y a doute sur la localisation et sur la forme des lésions. A l'aide de cet instrument, on peut apprécier les plus légers décollements de la rétine, la situation exacte de la papille du nerf optique, excavations ou proéminences, la position exacte des lésions de la rétine et de la choroïde.

Pour résumer les avantages des ophthalmoscopes, nous les

apprécierons au point de vue de l'examen par les méthodes de l'image droite ou de l'image renversée.

En général, les ophthalmoscopes fixes sont construits pour l'examen par la méthode de l'image renversée. Il est inutile de songer à s'en servir pour obtenir une image droite.

Les ophthalmoscopes mobiles peuvent en général être employés pour les deux procédés; cependant les miroirs concaves sont les meilleurs pour obtenir une image renversée; pour l'image droite, ils sont bien inférieurs aux miroirs plans ou convexes. Pour l'image droite, les miroirs plans l'emportent; ils donnent, il est vrai, moins de lumière que les miroirs concaves; mais avec ces miroirs l'œil de l'observateur est placé dans le cône de la lumière réfléchie, et la réflexion de la cornée est beaucoup plus petite qu'avec les miroirs concaves. Le miroir plan donnant peu de lumière, n'amène pas de contraction de la pupille, comme le miroir concave; en un mot, le miroir concave éclaire une plus grande surface, et le miroir convexe éclaire mieux la portion qu'on veut examiner.

Quant à la matière qui fait la base du miroir, Helmholtz a ainsi résumé les avantages et les inconvénients de ces substances. « Tantôt les miroirs sont de métal, ce qui présente l'avantage d'une ouverture plus nette, à bords tranchants, qui ne réfléchissent pas la lumière; tantôt ils sont de verre étamé, percés au milieu. Ces miroirs de verre possèdent une surface réfléchissante, moins altérable et sont plus clairs, en général, que les miroirs métalliques ordinaires. Mais, par contre, ils ont, surtout pour l'éclairage de l'image droite, le désavantage de ne pas offrir, entre la surface réfléchissante et l'ouverture, un bord aussi net et aussi tranchant que les miroirs métalliques. »

Il ne nous reste maintenant qu'à exposer la manière de se servir de l'*ophthalmoscope*.

Suivant le mode d'éclairage et la disposition de l'oph-

thalmoscope, nous avons à considérer la source lumineuse, le malade et l'observateur.

L'examen se pratique dans un appartement obscur afin que la lumière artificielle soit plus nette et les images plus faciles à saisir. Une obscurité complète n'est pas absolument indispensable; ainsi, l'exploration peut très bien se faire dans le coin d'une chambre où il y a peu de lumière solaire. Les ophthalmoscopes de Meyerstein, Galezowski et Poncet sont construits de manière à permettre l'examen dans un appartement éclairé.

A. — Source lumineuse. — Si, dans un appartement obscur, on pouvait à son gré diriger la lumière diffuse du soleil, il n'y aurait pas d'hésitation possible sur le choix de la source lumineuse; malheureusement, il n'en est pas ainsi, à moins que de faire comme Macdonald, de New-York, qui n'a pas eu d'imitateurs. Il faut recourir à la lumière artificielle. On emploie à cet effet une lampe, une bougie ou la lumière du gaz.

La lumière du gaz contient beaucoup de rayons caloriques. Elle est riche en rayons bleus et violets, et présente, en outre, une forte proportion de rayons rouges et jaunes. Ce genre de lumière n'est guère employé que dans quelques cliniques ophthalmologiques.

La flamme d'une bougie est peu intense et vacillante. Celle d'une lampe est préférable à cause de son immobilité. Dans ce genre de lumière, il y a beaucoup de rayons jaunes qui influent sur la coloration des images perçues.

La lumière électrique, qui a été conseillée, doit être complètement rejetée; elle contient trop de rayons violets.

Les inconvénients attribués à la lumière artificielle ont été signalés dans plusieurs ouvrages. Les rayons colorés ont été incriminés tout aussi bien que les rayons caloriques.

Pour empêcher les rayons caloriques de parvenir à la rétine, de Argilagos a proposé l'emploi d'une lentille en verre d'urane. C'est là peut-être une précaution trop minu-

tieuse, car, de la chaleur fournie par une lampe, il n'en arrive à la rétine qu'une très petite quantité, et cette quantité est si faible, que, dans la pratique, on peut se comporter comme si elle n'existait pas. Cependant, on doit en tenir compte lorsqu'un malade est soumis trop longtemps à l'examen de plusieurs personnes.

En ce qui concerne les rayons colorés, il y a unanimité pour rejeter toute lumière qui abonde en rayons violets, la lumière électrique par exemple. Ces rayons ont des propriétés chimiques nuisibles à l'œil. Si l'on employait ce genre de lumière, la lentille d'urane serait indispensable.

Pour annihiler les rayons jaunes qu'on a, par exagération, accusés d'irriter la rétine et de faire rétrécir la pupille, Follin et Janssen ont proposé de placer un verre bleu entre la flamme et l'ophthalmoscope. C'est peut-être dans ce but que le Dr Hugo Gerold a fait construire un ophthalmoscope qui se compose d'un verre bleu étamé, qui, de l'aveu de son auteur, donne peu de clarté. Il m'est souvent arrivé d'atténuer l'intensité de l'éclairage à l'aide d'un verre bleu placé devant l'œil observé dans les cas où le malade éprouvait une certaine sensibilité à l'examen ophthalmoscopique.

Dans la pratique, il arrive souvent que, lorsqu'un médecin demande une lampe pour pratiquer l'examen, on offre en compensation plusieurs bougies qu'il faut se hâter de refuser. Si on les acceptait, on n'aurait d'autre avantage que de voir le champ pupillaire occupé par les images de toutes les flammes; c'est assez d'être gêné par une seule, pour s'empresser de ne pas les multiplier.

Pour l'ophthalmoscope de M. Giraud Teulon, la lumière est placée derrière la tête du malade, de façon à ce qu'elle la dépasse d'environ 10 centimètres.

Pour les ophthalmoscopes mobiles, la source lumineuse sera immobile; c'est dire qu'elle ne doit pas être tenue à la main. La lumière est placée à la hauteur de l'œil observé et dans le voisinage de l'oreille du malade. Ce n'est qu'avec

une grande habitude de l'ophthalmoscope mobile qu'on peut négliger cette précaution.

Règle générale. — La source lumineuse doit être unique et immobile. La figure du malade, ou, du moins, l'œil exploré doit être dans l'ombre.

B. — Le malade. — Le malade est assis auprès de la table qui supporte la lumière.

L'immobilité de la tête est toujours désirable; elle est indispensable pour les ophthalmoscopes fixes.

La direction de l'œil varie suivant les régions à explorer.

Pour obtenir une bonne direction, on a imaginé plusieurs moyens. Les ophthalmoscopes fixes sont munis d'une tige mobile terminée par une boule qui peut occuper différentes positions, et que l'on fait fixer par le malade.

Pour les ophthalmoscopes mobiles, on a conseillé de placer, en arrière de l'observateur, un tableau disposé en damier. Suivant la position qu'on veut donner à l'œil, on engage le malade à fixer tel ou tel carré de ce damier. Ces carrés sont désignés par des chiffres ou des lettres. On peut très bien suppléer à l'absence d'un pareil tableau en indiquant au malade, comme point de mire, un objet placé dans l'appartement.

Si le malade ne sait pas lire, ou s'il y voit très peu, tous ces moyens sont sans valeur, sauf ce dernier pour ceux qui sont illettrés. Pour les malades presque aveugles, on place leur main dans la direction où on veut qu'ils regardent, et on les engage à fixer leur main. Cela suffit pour obtenir une position convenable.

Une pupille étroite constitue un inconvénient d'autant plus grand, que la choroïde est fortement pigmentée, ce qui arrive chez les individus bruns. Chez de pareils sujets, la lumière réfléchie par la choroïde est très faible; il faut donc éclairer une grande surface; de là la nécessité d'une pupille large.

Quand il s'agit de lésions voisines de l'équateur de l'œil,

la dilatation pupillaire devient obligatoire pour augmenter le champ d'exploration.

C. — Observateur. — Avec un ophthalmoscope fixe, la position de l'observateur est naturellement indiquée par la construction de l'instrument.

Quand on emploie un ophthalmoscope mobile, l'observateur se place en face du malade et un peu plus haut que lui. D'une main, il tient l'instrument, et, de l'autre, il soulève la paupière supérieure du malade, et tient la lentille convexe, quand cela est nécessaire.

L'observateur myope ou presbyte, qui a l'habitude de ne lire qu'avec des lunettes, peut très bien les conserver pour l'examen, à moins de conditions particulières sur lesquelles nous aurons à dire quelques mots.

Telles sont les considérations que nous avions à présenter d'une manière générale; passons maintenant aux applications particulières, et étudions les deux méthodes d'éclairage, l'éclairage oblique et l'éclairage direct.

L'éclairage *oblique*, *latéral* ou *focal*, n'a d'autre but que d'éclairer les parties antérieures du globe oculaire. Ce mode d'éclairage n'est qu'une des applications des lois de la catoptrique.

L'observateur se place dans la direction des rayons réfléchis par la partie qu'il veut examiner, c'est-à-dire qu'il évite de se placer sur le trajet des rayons lumineux qu'il projette dans l'œil.

L'ophthalmoscope mobile peut être employé pour ce mode d'éclairage; mais la lumière obtenue est si faible, qu'il vaut mieux recourir à l'emploi d'une lentille convexe, quand il s'agit de recherches minutieuses. Il ne sera donc ici question que de ce dernier moyen.

La lumière est placée du côté de l'œil à examiner et sur un plan d'autant plus antérieur à celui de l'œil que les parties à examiner sont plus profondément situées. Une lentille convexe + 20 dioptries environ est interposée entre

la lampe et l'œil, de façon à ce que les rayons lumineux viennent former leur foyer à l'endroit que l'on désire explorer. Si l'observateur, qui est placé en face du malade, désire grossir les détails, il emploie une seconde lentille convexe, qu'il tient au-devant de l'œil exploré, et près de ce dernier. Cette seconde lentille, instrument grossissant, joue le rôle de loupe.

L'éclairage oblique sert à constater les lésions de la cornée, de l'iris et du cristallin. Quelques lésions du corps vitré, voisines du cristallin, peuvent aussi être reconnues par ce mode d'éclairage.

Avec un ophthalmoscope fixe, la manière de procéder à l'éclairage direct ne nécessite aucune description; car, avec de pareils instruments, l'observateur est, en quelque sorte, passif : son rôle se borne à regarder. Il n'en est pas de même avec les ophthalmoscopes mobiles. Je n'ai donc à m'occuper que de ces derniers, et, pour plus de clarté dans l'exposition, je passerai successivement en revue l'éclairage direct sans lentille et l'éclairage direct avec lentille.

Pour l'éclairage direct sans lentille, la lumière peut être placée soit à droite, soit à gauche du malade. Il y a cependant des auteurs qui veulent que la lumière soit mise du côté de l'œil à explorer. Cela n'est pas indispensable. Dans le cas où les deux yeux devraient être examinés, il y aurait une perte de temps occasionnée par le déplacement du malade ou de la lumière.

Le miroir est tenu à la main, peu importe par laquelle. L'ophthalmoscope binoculaire de M. Giraud Teulon, est construit de façon à ce que la main droite puisse seule être employée.

Dans tous les traités, on conseille de donner au manche du miroir une direction verticale; mais la direction oblique ou horizontale me paraît être préférable. Avec la direction verticale, l'examen n'est facile que lorsque la lumière, l'œil observé et l'œil de l'observateur sont placés du même côté.

Si ces conditions ne sont pas réunies, le médecin est obligé de prendre des positions obliques très incommodes et très préjudiciables à l'intensité de l'éclairage.

La position oblique ou horizontale du manche présente, à mon avis, de grands avantages. En examinant avec l'œil gauche, et en tenant le miroir de la main droite, la main droite peut être placée devant l'œil droit; le miroir est supporté par le nez. Avec cette disposition, le médecin maintient facilement l'occlusion de son œil droit, et trouve sur le nez un point d'appui fixe pour le miroir. La difficulté de fermer l'œil pendant qu'on regarde avec l'autre, de maintenir le miroir immobile, toutes ces difficultés n'existent plus avec la position oblique du miroir telle que je l'ai indiquée.

L'éclairage direct sans lentille s'emploie pour le cristallin et le corps vitré; mais il faut remarquer que les lésions du corps vitré qui se trouvent près du pôle postérieur du globe oculaire, nécessitent l'emploi de lentilles convexes.

L'éclairage direct avec lentille comporte l'emploi des lentilles convexes et celui des lentilles concaves.

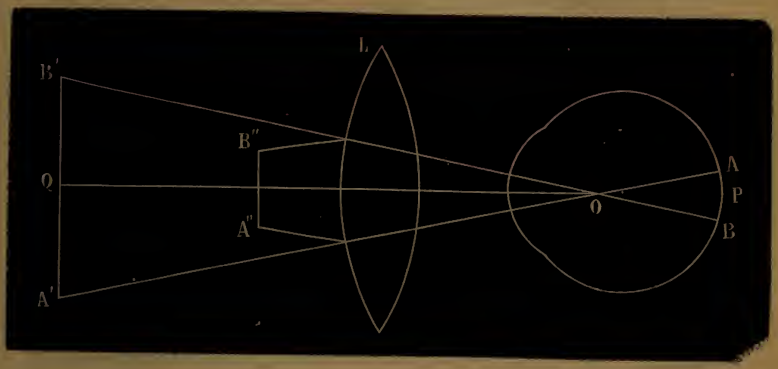
Image renversée. — La lentille convexe employée pour obtenir l'image renversée présente à considérer son foyer et la position qu'on doit lui donner.

Le foyer de la lentille employée est en général de deux pouces, ou + 20 dioptries. Cette distance focale est celle qui s'adapte le mieux à la distance ordinaire de la vision normale.

Le foyer de la lentille convexe exerce une influence sur la grandeur de l'image rétinienne et sur la position de cette image. Supposons *(fig. 8)* que la ligne A'B' soit le miroir oculaire et, en outre, que l'œil de l'observateur soit au point Q. Plus la lentille L sera convergente, et plus elle devra être tenue rapprochée de l'œil O; et comme l'image A"B" est à une distance de la lentille L un peu inférieure à la distance focale principale de cette lentille, il s'ensuit

que plus la lentille est convergente, et plus l'image A″ B″ se rapproche de la lentille L. De sorte que plus la lentille est

Fig. 8.



A B, portion de rétine éclairée. — A″B″, image renversée. — A′ B′, section du miroir. — Q, œil observateur. — L, lentille convexe.

convergente, et plus l'image A″B″ est éloignée du point Q. Pour que cette image A″B″ puisse être aperçue par l'œil de l'observateur, il faut qu'elle soit située à une distance convenable de l'observateur. Il résulte de là qu'un observateur myope peut employer une lentille moins convergente qu'un observateur hypermétrope.

La lentille exerce en outre une influence sur la grandeur de l'image rétinienne. Plus la lentille est convergente, et plus l'image obtenue est petite, et *vice versâ*. Ainsi, une lentille convexe n° 1/4 donnera une image plus grande qu'une lentille n° 1/2. Il est donc indispensable que chaque praticien prenne l'habitude de n'employer que des lentilles de même foyer, afin de ne pas être dérouté par des modifications dans l'étendue des images. Il arrive souvent que des personnes habituées à se servir d'une lentille d'un foyer donné, diagnostiquent une atrophie de la papille, quand elles ont à examiner un sujet avec une lentille plus convergente que celle qu'elles ont l'habitude d'employer. Cela tient à ce qu'avec une lentille plus convergente, l'image de

la papille leur apparaît sous un diamètre plus petit que celui qu'elles sont habituées à rencontrer.

La lentille doit être tenue presque perpendiculairement. Cette précaution est importante. Une lentille tenue trop obliquement donne à la papille une forme elliptique, forme qui est un des symptômes de l'astygmatisme. Il ne faut donc pas, par une mauvaise tenue de lentille, s'exposer à donner à la papille du nerf optique une forme pathologique, ce qui exposerait l'observateur à une erreur de diagnostic.

Pour tenir la lentille convexe au devant de l'œil malade, M. Gillet de Grandmont a imaginé un instrument *ad hoc*. La main est encore ce qu'il y a de mieux. Avec des instruments, la lentille est fixe, et ce n'est pas, en général, un grand avantage. La lentille tenue à la main peut être promenée devant l'œil malade, ce qui permet de suivre les déplacements du globe oculaire, et même de ramener dans le champ de l'observation des parties qui sont cachées, la lentille jouant alors le rôle de prisme. La main qui tient la lentille peut être ainsi placée : l'auriculaire et l'annulaire reposent sur la figure du malade; le médius soulève la paupière supérieure, et l'index et le pouce tiennent la lentille.

On peut ajouter une seconde lentille convexe derrière le miroir pour grossir les détails de l'image; mais ce moyen est assez incommode, et il vaut mieux recourir à l'examen de l'image droite.

Image droite. — L'étude de l'image droite réclame l'éclairage direct, avec emploi d'une lentille convexe ou concave. La lentille est placée en arrière du miroir et le plus près possible de la face postérieure du miroir. La lumière est placée du côté de l'œil examiné. Le médecin doit se tenir très près du malade, il est même des cas où les fronts de l'observateur et de l'observé sont presque en contact.

Le numéro de la lentille à employer ne peut être fixé à l'avance; il doit varier, à la fois, suivant l'état de réfraction des yeux de l'observateur et de l'observé. Aussi est-ce pour

cela que les ophthalmoscopes sont munis de plusieurs lentilles de différents foyers.

L'étude de l'image droite étant plus difficile et même plus fatigante que celle de l'image renversée, ne doit être abordée que lorsqu'on est familiarisé avec l'étude de l'image renversée ou lorsqu'on veut déterminer la réfraction de l'œil observé.

Avant de terminer ce qui a trait à l'ophthalmoscopie, nous voulons encore insister sur la manière dont on doit se placer pour examiner les malades par le procédé de l'image renversée.

Avec un ophthalmoscope mobile ou portatif, le malade est assis sur une chaise et la lampe est placée à côté *(fig. 9)*.

Fig. 9.

Examen de l'œil avec un ophthalmoscope mobile.

Le médecin, assis en face du malade et un peu plus haut, applique le miroir près de son œil. Dans la figure ci-jointe qui donne une physionomie de la position de l'observateur et de l'observé, le miroir a été dessiné à une trop grande distance de l'œil du médecin.

Pour placer la figure du malade dans l'obscurité, on

peut interposer un écran entre la lampe et l'œil du malade.

Quand on emploie l'ophthalmoscope binoculaire de Giraud Teulon, le médecin s'assied en face du malade, et la lumière est placée en arrière du malade, dans la position indiquée par la figure 10. La lampe doit être plus haute que la tête du malade, afin que les rayons lumineux puissent atteindre le miroir et être réfléchis dans l'œil observé, ainsi que cela est indiqué dans la figure par la ligne pointillée. L'observateur tient l'ophthalmoscope avec la main droite et il l'appuie sur son front pour en assurer la fixité. La main gauche est employée à tenir la lentille convexe au devant de l'œil.

Fig. 10

Examen de l'œil avec l'ophthalmoscope binoculaire de Giraud Teulon.

4. Accommodation. Réfraction. — L'accommodation et a réfraction sont deux choses bien distinctes. Donders, le premier, a signalé cette différence en des termes si clairs

et si précis que nous croyons devoir lui emprunter sa description.

« Une distinction sévère entre les anomalies de la réfraction et de l'accommodation est nécessaire, parce que les notions de la réfraction et de l'accommodation diffèrent en nature et en principe. La réfraction de l'œil est la déviation que subit la lumière dans l'état de repos, la propriété que le système dioptrique possède, grâce à la forme, indépendamment de toute action musculaire, de toute accommodation. L'accommodation, au contraire, repose sur les changements que la réfraction peut subir par l'action des muscles volontaires. La distance du point le plus éloigné de la vision distincte répond au repos complet de l'accommodation. Lorsque celle-ci commence, l'œil est adapté pour des distances de plus en plus petites jusqu'à la distance du point le plus rapproché de la vision distincte. Il en résulte que la réfraction dépend de l'état anatomique et physique du système dioptrique, tandis que l'accommodation dépend de l'action physiologique des muscles. »

L'accommodation peut être considérée comme la réfraction dynamique de l'œil, tandis que la réfraction simple peut être considérée comme la réfraction statique. La première est la réfraction active, et la seconde, la réfraction passive.

Un œil qui possède une réfraction normale, c'est-à-dire qui peut sans efforts réunir sur la rétine les rayons qui lui arrivent parallèles, cet œil est dit emmétrope ; dans le cas contraire, il est dit amétrope. Si ces rayons parallèles forment leur foyer en avant de la rétine, l'œil est dit myope. Donders avait proposé l'expression de brachymétrope qui n'a pas prévalu. Si, au contraire, les rayons parallèles se réunissent en arrière de la rétine, l'œil est dit hypermétrope ou hyperope.

Il résulte de là que l'amétropie est un vice de la réfraction statique, se divisant en myopie ou brachymétropie, et en hypermétropie ou hyperopie.

Le mot EMMÉTROPE vient du grec ἔμμετρος, *régulier*, ayant la mesure, et ὤψ, *œil*.

Le mot AMÉTROPE vient de ἀ privatif, μέτρον, *mesure* ou *longueur*, et ὤψ, *œil*.

Le mot HYPERMÉTROPE vient de ὑπὲρ, *au-dessus, par dessus*, μέτρον, *mesure*, et ὤψ, *œil*.

Le mot HYPEROPIE vient de ὑπὲρ, *au-dessus*, et ὄψις. D'après cette étymologie, l'expression hyperopsie serait plus exacte.

Le mot MYOPIE vient de μυωπια, *myopie*. Cette expression vient de μύωψ, *myope*, et de μύω, *je cligne*, et ὤψ, *œil*, parce que les myopes ont l'habitude de cligner pour diminuer les cercles de diffusion sur la rétine.

Le mot BRACHYMÉTROPE vient de βραχὺς, *court*, μέτρον, *mesure*, et ὤψ, *œil*.

Le mot PRESBYTE vient de πρεσβυτὴς, *vieillesse, vieillard, presbyte*. Cette expression tire son origine de πρέσβυς, *vieillard*.

Les mots MYOPIE et PRESBYTIE ne sont arrivés dans la langue française qu'indirectement du grec, et cela au moyen de la langue latine.

Cette division de l'amétropie nous montre le tort qu'avaient les anciens médecins, et même de nos jours les gens du monde, d'opposer la myopie à la presbytie. Ces deux états sont complètement dissemblables et n'ont aucune relation entre eux. La myopie est une lésion de la réfraction statique, et la presbytie est une lésion de la réfraction dynamique. Un malade peut être à la fois myope et presbyte. C'est même à la presbytie qui se présente chez les myopes âgés que ces derniers arrivent à lire sans lunettes. D'où l'on peut conclure, en pratique, que tout vieillard qui lit sans lunettes est un myope.

Qu'est-ce donc que la presbytie? La presbytie est la sénilité de l'accommodation, l'inertie de la puissance accommodatrice résultant des progrès de l'âge. Être presbyte, c'est être vieux. Le myope et l'hypermétrope

n'échappent pas aux lois générales de la nature, ils vieillissent et en vieillissant ils deviennent presbytes.

L'accommodation étant la réfraction dynamique ou la réfraction vitale de l'œil, si je peux m'exprimer ainsi, présente à considérer à l'état normal le punctum proximum et le punctum remotum.

Par *punctum proximum,* on entend le point le plus rapproché de l'œil où la vision est possible. Le *punctum remotum* est le point le plus éloigné où la vision est possible. La distance comprise entre ces deux points constitue l'étendue ou l'amplitude de l'accommodation.

Par lui-même, le punctum proximum, à part les considérations sur l'amplitude de l'accommodation, n'a pas la même importance que le punctum remotum, dont la position sert à déterminer la puissance de réfraction de l'œil.

Pour l'œil emmétrope, le punctum remotum est situé à l'infini. Pour l'œil amétrope, et ceci est important à retenir, la distance du punctum remotum à l'œil est égale à la distance focale principale de l'œil.

Ainsi un myope a son punctum remotum à 5 centimètres; la myopie ou la valeur de la réfraction statique de son œil sera égale à une lentille dont le foyer principal sera distant de 5 centimètres.

Il en est de même pour l'hypermétrope. Mais ici, il y a une distinction importante à établir. C'est que pour le myope, le punctum remotum est situé en avant de l'œil, tandis que pour l'œil hypermétrope, il est situé en arrière de la rétine.

Pour l'œil myope, le punctum remotum peut être mesuré directement par la lecture d'un livre, l'accommodation étant au repos. Pour l'hypermétropie, il faut avoir recours à l'examen avec des verres.

Ces déterminations nécessitant des connaissances optiques, il nous faut en renvoyer l'examen à plus tard.

Dans la pratique, pour la certitude des mensurations et la rapidité des expériences, on emploie avec fruit les optomètres,

instruments que nous décrirons plus tard et qui servent à mesurer la réfraction et l'étendue de l'accommodation.

On peut aussi déterminer la réfraction d'un œil à l'aide de l'ophthalmoscope, mais le procédé dont nous indiquerons la théorie est d'une application plus difficile que l'emploi des optomètres, où le résultat est donné par l'instrument lui-même.

Depuis les travaux de Donders, l'amplitude de l'accommodation se désigne par la valeur d'une lentille qui représente le somme ou la différence entre deux lentilles dont les distances focales seraient le punctum proximum et le punctum remotum. Justifier cette proposition serait empiéter sur les données que nous aurons à développer après avoir exposé la théorie des lentilles.

L'amplitude de l'accommodation diminue avec l'âge parce que la presbytie a pour conséquence l'éloignement du punctum proximum. Plus le sujet est jeune et plus la puissance de l'accommodation est grande. Vers l'âge de quatre-vingts ans, elle peut être considérée comme nulle.

La presbytie, au point de vue de nos besoins quotidiens, commence à faire sentir ses effets à partir de quarante ans. Si on la mesure en la représentant par un verre de dioptrie métrique, on remarque qu'elle augmente d'une dioptrie tous les cinq ans, et cela graduellement jusqu'à soixante ans. A partir de cette époque, la progression n'est plus régulière, tantôt l'augmentation est d'une dioptrie et tantôt d'une demi-dioptrie par période quinquennale.

La connaissance de cette progression est devenue le point de départ de calculs sur le choix des verres correcteurs de la presbytie.

Voici le raisonnement que l'on tient : Un individu est âgé de cinquante ans, par exemple; la presbytie, débutant à quarante ans et augmentant d'une dioptrie tous les cinq ans jusqu'à soixante ans, a donc augmenté de 2 dioptries puisque, entre quarante et cinquante ans, il y a dix ans,

c'est-à-dire *deux* fois cinq ans. Comme la presbytie considérée comme nulle à quarante ans augmente d'une dioptrie tous les cinq ans, elle a augmenté de 2 dioptries en dix ans. Le numéro 2 dioptries sera conseillé à cet individu pour la correction de sa presbytie.

Je ne crois pas qu'il soit nécessaire d'avoir recours à ces formules. La presbytie, qui est la sénilité de l'œil, échappe dans bien des cas à toutes les règles mathématiques, car il y a des individus qui vieillissent avant l'âge et d'autres qui restent jeunes malgré le progrès des années. C'est pour cette raison que nous ne nous étendrons pas plus au long sur cette question.

La correction de la myopie et de l'hypermétropie se fait à l'aide de verres sphériques, concaves ou convexes. Les calculs relatifs à la détermination de ces verres seront exposés après la théorie des lentilles.

Il nous reste à signaler un vice de réfraction, c'est l'astygmatisme, maladie qui consiste en une inégalité de réfraction dans les différents méridiens de l'œil. Cette anomalie est corrigée par les verres cylindriques, dont l'action particulière nécessite un examen spécial.

BIBLIOGRAPHIE

Aubert, *Handbuch der gesammten Augenheilkunde*, t. II, p. 488.

Carron du Villards, *Maladies des yeux*, t. I, p. 194.

Donders, *Astygmatisme*, p. 4.

Follin et Janssen, *Considérations physiologiques sur l'éclairage*, etc. (*Archives de médecine*, 1861).

Green, *Des Caractères d'épreuves :* Congrès d'ophthalmologie (session de Londres), p. 170.

Helmholtz, *Optique physiologique.*

Javal, *Essai sur la physiologie de la lecture* (*Annales d'occulistique*, t. LXXIX, p. 104).

Landolt, *Leçons sur le diagnostic des maladies des yeux*, p. 124.

Sanson, *Traité de la cataracte*, p. 28.

Snellen et Landolt, *Handbuch*, t. III, p. 8.

Wecker (L. de), *Échelle métrique pour mesurer l'acuité visuelle.* Paris, 1877.

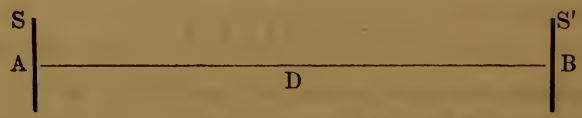
CHAPITRE II

INTENSITÉ DE LA LUMIÈRE

5. **Loi du carré des distances et du cosinus.** — L'intensité de la lumière est proportionnelle au cosinus de l'angle d'incidence et en raison inverse du carré de la distance. Ainsi, plusieurs écrans A, B, C, etc., étant situés à des distances diverses d'un point lumineux 0, 2, 3, etc., l'intensité lumineuse sera 1 sur l'écran A, $\frac{1}{4}$ sur l'écran B, $\frac{1}{9}$ sur l'écran C.

6. **Loi d'éclairement des surfaces.** — Si un point

Fig. 11.



S, S', surfaces. — D, distance entre les deux surfaces.

lumineux (*fig. 11*) situé au point A, et possédant une intensité lumineuse I, éclaire un point limité B de la surface S', l'intensité lumineuse transmise du point A au point B sera, suivant la loi des carrés, égale à

$$\frac{I}{D^2}.$$

Mais si au lieu d'un point B de la surface S', c'est toute

la surface S' qui est éclairée, l'intensité lumineuse sur cette surface sera S' fois plus grande, et sera égale à

$$\frac{IS'}{D^2}.$$

Enfin, si au lieu d'un point lumineux A, c'est toute la surface S qui projette la lumière, l'intensité sera S fois plus grande, et l'on aura

$$\frac{ISS'}{D^2}.$$

Telle sera l'intensité lumineuse transmise à la surface S' par la surface S, mais à la condition que ces surfaces soient perpendiculaires à la ligne D qui les joint. Si elles sont obliques, il faut tenir compte de l'incidence. Si la surface S fait avec la normale au point A un angle *a*, et la surface S' un angle *b* avec la normale au point B, on aura

$$\frac{ISS' \cos a \cos b}{D^2}.$$

Telle est la loi d'éclairement des surfaces. Nous allons en trouver immédiatement une application dans la pratique ophthalmologique.

Si l'intensité lumineuse décroît proportionnellement au carré de la distance, il semble qu'il suffirait d'éloigner soit la lumière, soit le miroir, afin de diminuer l'intensité de l'éclairage et faciliter ainsi l'examen des malades qui ont un certain degré de photophobie.

Plusieurs fois, j'ai voulu agir ainsi, mais les malades n'en continuaient pas moins à se plaindre que l'intensité lumineuse était aussi grande et qu'elle les fatiguait tout autant. Que devient ici la loi du carré des carrés des distances? Elle paraît en défaut; il n'en est rien, car nous avons à tenir compte non seulement de la distance, mais aussi de l'étendue des deux surfaces éclairante et éclairée.

Étant donné un objet, la grandeur de son image sur la rétine sera en raison inverse de la distance de cet objet à l'œil. Si la distance devient double, l'image sera deux fois plus petite, et la surface quatre fois moindre. Si, au lieu d'un objet, nous supposons qu'il s'agisse de la surface d'un miroir, son image sur la rétine, ou la surface éclairée de cet organe sera en raison inverse de la distance du miroir à l'œil. Le miroir possédant une intensité lumineuse i, d'après la loi d'éclairement des surfaces, et en désignant le miroir par s, la surface éclairée de la rétine par s', nous aurons pour h, intensité de l'éclairage sur la rétine :

$$h = \frac{iss'}{d^2}.$$

Si nous reculons le miroir à une distance double, d deviendra $2d$, la surface s' deviendra quatre fois plus petite, ou, pour faciliter les calculs, la surface éclairante deviendra, par rapport à la surface éclairée, quatre fois plus grande. Dans ces conditions, nous aurons pour l'intensité lumineuse h' reçue par la rétine :

$$h' = \frac{4iss'}{4d^2},$$

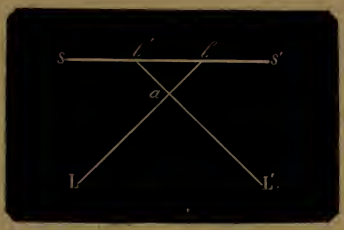
d'où $h = h'$.

C'est-à-dire que l'intensité lumineuse sera la même sur la rétine. La surface éclairée sera plus petite, mais chaque point éclairé de la rétine recevra la même intensité lumineuse dans les deux cas. Ainsi s'explique ce fait que, malgré l'éloignement de la lumière ou du miroir, les malades se plaignent également.

7. Propriété de l'œil de distinguer entre deux intensités lumineuses. — Pour reconnaître jusqu'à quel point l'œil peut différencier deux états lumineux, plusieurs expériences ont été faites à l'aide du disque de Masson et du

photomètre de Rumford; nous ne nous occuperons que des dernières, parce qu'elles sont plus à la portée de tous.

Fig. 12.



SS', tableau. — *a*, bâton vertical. — LL', lumières. — *ll'*, ombres sur le tableau.

Soient un tableau blanc SS' *(fig. 12)*, un bâton *a* placé verticalement, et deux lumières égales L et L'. Sur le tableau SS', se trouvent deux ombres *l* et *l'*, d'inégale intensité, si les lumières L et L' sont à des distances différentes du tableau. L'intensité fournie par la lumière L sera

$$I = \frac{1}{L l^2};$$

celle fournie par la lumière L' sera

$$I' = \frac{1}{L' l'^2}.$$

La partie éclairée du tableau, c'est-à-dire celle qui est en dehors des ombres *l* et *l'* recevra une intensité lumineuse égale à I + I', tandis que le point *l'*, par exemple, ne recevra que l'intensité I.

Éloignons la lumière L' jusqu'au moment où *l'* cesse d'être perçu, et comparons alors les deux intensités I et I', nous aurons la valeur de la puissance qu'a l'œil de distinguer deux intensités lumineuses. Cette valeur, si l'on prend pour unité l'intensité la plus faible, serait de 1/64 pour Bouguer, 1/100 pour Volkmann.

Aubert a démontré que la propriété de distinguer entre deux intensités lumineuses dépendait de l'éclairage absolu de la surface SS′ et que la diminution de cet éclairage entraînait aussi la diminution dans la perception entre deux intensités lumineuses.

Il a résumé ses expériences dans le tableau suivant, où il a pris pour unité d'éclairage de la lumière principale une bougie placée à 2 mètres de distance.

Clarté absolue.	Éloignement de la bougie L.	Éloignement de la bougie L′.	
1	2m00	11m87	1/35
4	1 00	8 20	1/67
7	0 75	7 15	1/90
16	0 50	4 85	1/94
25	0 40	4 085	1/104
44	0 30	3 09	1/106
100	0 20	2 22	1/123
173	0 15	1 77	1/140
710	0 075	0 96	1/164

8. **Influence de l'éclairage sur l'acuité de la vision.** — L'intensité de la lumière joue un rôle capital dans l'accomplissement de la plus importante des fonctions de l'œil. Pour voir, il faut de la lumière, c'est une vérité banale. Mais quelle intensité lumineuse faut-il? Ici la question devient embarrassante, car s'il faut de la lumière pour voir, il n'en faut ni trop ni trop peu.

Si, pendant une lecture, l'intensité lumineuse diminue graduellement, nous sommes obligés de rapprocher de plus en plus le livre de nos yeux et il arrive un moment où nous ne pouvons rien distinguer. La lecture devient impossible. Le phénomène inverse se produit si l'intensité lumineuse augmente. Ainsi, des caractères d'imprimerie que nous lirions à un mètre de distance avec un certain éclairage, pourront être lus à une plus grande distance avec une lumière plus vive. Cependant il arrive un moment où l'intensité de l'éclairage n'augmente pas la puissance

visuelle, car une lumière trop vive nous éblouit, et pour faire cesser cette pénible impression, nous songeons plutôt à fermer les yeux qu'à chercher à distinguer l'objet trop fortement éclairé.

La netteté de la vision dépend donc de l'intensité de l'éclairage. Une intensité trop forte ou une intensité trop faible diminuent cette netteté. Comme le dit Snellen, la clarté la plus favorable varie avec les individus et dépend spécialement du degré de clarté auquel l'œil a été soumis auparavant.

Il est donc impossible de fixer une unité qui représente exactement quelle doit être l'intensité lumineuse nécessaire à l'accomplissement de la vision. Pour l'examen de l'acuité de la vision, M. Klein conseille comme éclairage uniforme, la clarté de 25 à 50 et même 100 bougies, type anglais.

Puisque, suivant l'intensité de l'éclairage, nous approchons ou nous éloignons le livre que nous lisons, il en résulte que l'angle visuel varie en raison inverse de la distance à laquelle nous tenons le livre. Pour calculer cet angle, abstraction faite de l'intensité lumineuse, jetons un coup d'œil sur la figure suivante.

Fig. 13.

A B, objet. — C *c*, axe visuel. — O, point nodal antérieur de l'œil. — *o*, point nodal postérieur. — *a b*, image rétinienne.

Pour la facilité de la démonstration, nous supposerons que les deux points nodaux de l'œil coïncident et se trouvent au point O *(fig. 13)*. Soient A B l'objet fixé, perpendiculaire

à l'axe visuel C*oc* et *ab* son image sur la rétine. Il s'agit de calculer la valeur de l'angle A O B, qui est égal à *aob* comme opposé par le sommet; on aura

$$(1) \qquad AB = 2.OC.\text{Tang}\tfrac{1}{2}AOB,$$

Et comme les triangles A O B et *aob* sont semblables, on aura pour le calcul de la grandeur de l'image sur la rétine la formule suivante :

$$(2) \qquad \frac{ab}{AB} = \frac{oc}{OC}.$$

Comme A B est ici la grandeur du caractère typographique du livre que nous lisons, et que cette quantité est invariable quelle que soit la distance du livre à l'œil, nous désignerons cette grandeur par l'unité, 1. O C est la distance de l'objet à l'œil, nous le désignerons par la lettre *d*, et *oc* est la distance du point nodal à la rétine, nous le désignerons par la lettre *n*.

En remplaçant dans les équations ci-dessus (1) et (2) les valeurs A B, O C, *oc* par 1, *d* et *n*, nous aurons.

$$(3) \qquad 1 = 2.d.\text{Tang}\tfrac{1}{2}AOB$$

et

$$(4) \qquad ab = \frac{n}{d}.$$

Pour calculer la valeur de l'angle A O B, dans ses rapports avec l'éloignement de la lumière ou l'intensité de l'éclairage, Mayer a posé la formule empirique suivante, formule déduite de nombreuses expérimentations.

$$(5) \qquad \text{Angle } AOB = 158'\sqrt[3]{a},$$

a désignant ici la distance de la source lumineuse, et comme, suivant la loi du carré des distances, l'intensité lumineuse est en raison inverse du carré des distances, si

l'on désigne par i cette intensité lumineuse, puisque a est la distance, on aura

$$i = \frac{1}{a^2}. \tag{6}$$

Transportant cette valeur dans l'équation précédente (5) on aura

$$\text{Angle A O B} = \frac{158''}{\sqrt[6]{i}}. \tag{7}$$

En remplaçant dans l'équation (3) d par sa valeur tirée de l'équation (4), et A O B par sa valeur tirée de l'équation (7), nous aurons, l'angle A O B étant très petit,

$$ab = 2n \operatorname{Tang}\left(\frac{79''}{\sqrt[6]{i}}\right) = \frac{2n79''}{\sqrt[6]{i}}. \tag{8}$$

Le second terme de cette équation (8) est sous forme fractionnaire. Le numérateur $2n79''$ est constant. La valeur de cette fraction est donc sous la dépendance de la valeur de i. Plus i sera petit, c'est-à-dire plus l'intensité lumineuse sera faible, et plus ab sera grand, et *vice versâ*.

Ainsi se trouvent démontrés les rapports entre la grandeur de l'image rétinienne et l'intensité de l'éclairage. Plus la lumière est faible et plus grande doit être l'image sur la rétine, et pour que cette image rétinienne grandisse, il faut, ainsi que le prouve l'équation (4), que la distance du livre à l'œil diminue.

Si l'augmentation de l'éclairage nous permet de lire à une plus grande distance, quel doit être le rapport entre cette distance et l'intensité de la lumière?

En 1735, Celsius, astronome suédois, prétendit que pour voir d'une manière également distincte un objet à une distance 2, 3, 4, x fois plus grande, il fallait que l'intensité lumineuse fût x^8 fois plus grande. L'intensité devait être proportionnelle à la huitième puissance de la distance.

Ainsi, un objet vu distinctement à un mètre de distance et éclairé par une certaine intensité lumineuse i, devrait être éclairé par une intensité lumineuse 2^8, pour être vu distinctement à deux mètres de distance; c'est-à-dire que, dans le second cas, l'intensité devait être 256 fois plus grande que dans le premier.

Cette loi n'a pas été vérifiée par l'expérience. Klein, qui a publié un excellent travail sur l'influence de l'éclairage, a reconnu que l'acuité visuelle était loin d'augmenter proportionnellement à l'augmentation de l'éclairage.

Pour déterminer aussi exactement que possible l'influence de l'intensité de l'éclairage sur l'acuité de la vision, j'ai eu recours aux expériences suivantes, avec l'optomètre Badal.

En dirigeant l'optomètre vers un ciel pur et dans le voisinage du soleil, de manière à éclairer le plus fortement possible la plaque d'épreuve de l'optomètre, mon acuité est égale à 1 et mon œil emmétrope. J'obtiens les mêmes résultats en dirigeant l'optomètre vers le ciel, sans tenir compte de la position du soleil. Avec la lumière naturelle, mon œil est donc emmétrope et mon acuité normale.

Répétant cette expérience pendant la nuit, l'optomètre dirigé vers une forte lampe, j'ai pu, en m'éloignant de la lampe, calculer l'influence de l'intensité, puisque cette intensité est en raison inverse du carré des distances.

Dans ces conditions, j'ai d'abord noté que, pour obtenir une acuité normale, l'index de l'optomètre marquait—3, et que la distance maximum de l'instrument à la lampe était de 1 mètre 40, dont le carré est 1,96; en nombre rond, 2.

Pourquoi mon œil, qui est emmétrope en plein jour, devient-il hypermétrope pendant la nuit? Cela ne tient-il pas à ce que, pour obtenir une acuité normale, l'intensité lumineuse étant moins grande, je me place inconsciemment dans les conditions de l'hypermétropie pour obtenir sur la rétine de plus grandes images et arriver ainsi à la lecture de petits caractères?

Telle a été ma première impression ; mais j'ai dû rejeter cette interprétation, car en répétant la même expérience avec l'œil muni d'une fente linéaire, je suis arrivé aux mêmes résultats. Les cercles de diffusion étaient annihilés, mon acuité était normale et mon œil restait hypermétrope.

Je ne sais comment interpréter cette particularité ; mais elle m'a paru digne d'être signalée, car elle prouve que des examens faits avec des lumières de diverse nature donnent des résultats complètement différents pour la détermination de la réfraction de l'œil observé.

Toutes les lumières ne sont pas également réfrangibles, et c'est peut-être là la véritable raison de cette différence.

Continuant mes expériences et éloignant graduellement l'optomètre de la lampe, j'ai mesuré les diverses distances de l'instrument au foyer lumineux, pour obtenir différents degrés de l'acuité de la vision, et je suis arrivé aux chiffres suivants :

Intensité lumineuse.	Acuité de la vision.
$\frac{1}{2}$	$\frac{6}{6}$
$\frac{1}{2^2}$	$\frac{5}{6}$
$\frac{1}{2^3}$	$\frac{4}{6}$
$\frac{1}{2^4}$	$\frac{3}{6}$
$\frac{1}{2^5}$	$\frac{2}{6}$
$\frac{1}{2^6}$	$\frac{1}{6}$

Chez deux myopes nous avons obtenu des résultats identiques. La myopie, qui était en plein jour de — 11 et — 7 dioptries métriques, était, avec la lumière artificielle, — 10 et — 6. La lumière artificielle serait donc moins réfrangible que la lumière du soleil.

On voit par là que l'acuité de la vision diminue avec la diminution de l'intensité de l'éclairage, que cette diminution de l'acuité suit une marche progressive régulière par rapport à l'intensité de l'éclairage, de la manière suivante :

Pendant que l'intensité de la lumière suit une progression géométrique dont la raison est $\frac{1}{2}$, l'acuité de la vision constitue une progression arithmétique dont la raison est $-\frac{1}{8}$.

Si nous désignons par $\frac{a}{a}$ la fraction qui représente l'acuité normale de la vision, par $\frac{1}{d}$ l'intensité de l'éclairage qui produit cette acuité normale, et qu'on se demande quelle sera l'acuité de la vision pour une intensité $\frac{1}{d^m}$, nous aurons, par la valeur de cette acuité :

$$\frac{a-m+1}{a}.$$

Cette valeur résulte de nos expériences; mais notre intention n'est pas de l'ériger en loi absolue, car de nouvelles expériences sont nécessaires.

Nous continuons ces expériences avec la lumière polarisée, afin de connaître l'influence de la nature de la lumière employée ; nous les continuons aussi chez les hypermétropes et chez les myopes, pour rechercher si dans ces cas d'amétropie notre loi se confirme.

BIBLIOGRAPHIE

Aubert, *Handbuch der gesammten Augenheilkunde*, t. II, p. 488.
Bouguer, *Traité d'optique sur la gradation de la lumière*, p. 81. Paris, 1769.
Celsius, cité par Bouguer.
Klein, *De l'influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle*. Paris, 1873.
Mayer, cité par Klein.
Volkmann, *Optique physiologique d'Helmholtz*.

CHAPITRE III

LUMIÈRE RÉFLÉCHIE

9. **Catoptrique.** — La partie de la physique qui traite de la lumière réfléchie est désignée sous le nom de *catoptrique*, du grec κάτοπτρον, *miroir*.

Cette étude est très importante, car elle nous conduit à des connaissances utiles sur les propriétés des miroirs. Or les miroirs font la base de tout ophthalmoscope, de ces instruments destinés à projeter la lumière dans l'œil et à en éclairer la cavité. Ce n'est pas tout, les miroirs ont des rayons de courbure ; ils donnent des images. Dans certains cas, il faut calculer la longueur de ces rayons de courbure, déterminer la grandeur et la position des images, et cela non seulement pour les ophthalmoscopes, mais aussi pour certains organes de l'œil, la cornée, les faces antérieure et postérieure du cristallin, qui constituent de véritables miroirs.

C'est par l'étude de la lumière réfléchie que l'on a pu déterminer exactement la forme et les rayons de courbure de la cornée, les modifications que subit le cristallin pour faciliter l'accommodation. C'est par la lumière réfléchie, au moyen de l'éclairage oblique, que nous examinons avec netteté les lésions des parties antérieures du globe oculaire, la cornée, la chambre antérieure, l'iris, le cristallin et même une partie du corps vitré.

Comme on le voit, les données de la catoptrique nous

sont indispensables pour nous rendre compte des procédés employés dans certains cas pour l'examen de l'œil.

10. **Lois générales de la lumière réfléchie.** — Un rayon lumineux qui rencontre une surface lisse et polie, change de direction pour revenir dans le même milieu où il était. Ce changement de direction, cette déviation, constitue la réflexion.

Dans le Dictionnaire de MM. Robin et Littré, on trouve la définition suivante : « En physique, on nomme réflexion un phénomène qui a lieu lorsqu'un corps doué d'une certaine vitesse en rencontre un autre qui lui fait obstacle et le force de prendre une autre direction. Quand, par exemple, un rayon lumineux tombe sur une surface polie, il se réfléchit, et retourne vers le milieu qu'il vient de traverser. »

Nous ne saurions accepter cette définition, car elle s'applique aussi bien à la réflexion qu'à la réfraction, car dans la réfraction n'y a-t-il pas aussi un rayon rencontrant une surface qui lui fait un obstacle et le force à prendre une autre direction? Pour rendre cette définition plus précise, il aurait fallu ajouter que le rayon reste toujours dans le même milieu. C'est là, en effet, ce qui distingue la réflexion de la réfraction. Dans la réflexion, le rayon reste dans le même milieu, et dans la réfraction, il passe d'un milieu dans un autre.

La réflexion est soumise à deux lois importantes et capitales qu'il faut rappeler.

Première loi. — *Le rayon incident et le rayon réfléchi sont tous deux situés dans un même plan, qui est perpendiculaire à la surface réfléchissante.*

Deuxième loi. — *Le rayon incident fait avec la normale au point d'incidence un angle égal à celui que fait le rayon réfléchi*

avec cette même normale, ce que l'on exprime ainsi : l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence.

Fig. 14.

SS, surface plane. — IP, rayon incident. — PR, rayon réfléchi. — PP', normale au point d'incident P.

Sur la surface SS *(fig. 14)* le rayon incident IP fait avec la normale PP' un angle IPP' qui est l'angle d'incidence. Le rayon réfléchi est PR, qui fait avec la normale PP' un angle RPP' qui est l'angle de réflexion. Les deux angles IPP' et RPP' sont toujours égaux et situés dans un même plan perpendiculaire à la surface réfléchissante.

La démonstration de ces deux lois se trouvant dans tous les traités de physique, même les plus élémentaires, nous ne nous arrêterons pas à en prouver la réalité. Nous avons voulu seulement les rappeler à la mémoire, car elles sont très importantes, et dans la suite de notre travail, nous aurons plus d'une fois l'occasion de les prendre pour point de départ de nos démonstrations.

CHAPITRE IV

MIROIRS PLANS

11. **Définition.** — Les miroirs plans, ainsi que l'indique leur nom, sont des surfaces planes et polies destinées à réfléchir la lumière.

Peu usités dans la pratique ordinaire de l'examen ophthalmoscopique, car presque la généralité des ophthalmoscopes se composent d'un miroir concave, ils rendent cependant de grands services pour l'étude de l'image droite. Projetant peu de lumière, ils éblouissent peu le malade; ils n'occasionnent pas de constriction de la pupille, et permettent ainsi facilement l'examen par le procédé de l'image droite.

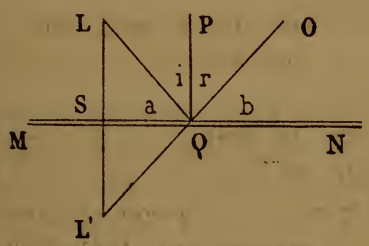
12. **Images.** — Les images fournies par les miroirs plans sont des images virtuelles. Les rayons réfléchis ne se rencontrent pas dans le premier milieu; mais si on les suppose prolongés de l'autre côté du miroir, on voit que leurs prolongements concourent à un même point avec la perpendiculaire menée de l'objet lui-même. Dans ce cas l'œil est affecté comme si les rayons étaient partis de ce point de rencontre, et il y voit une image. Cette image n'existe pas en réalité, car les rayons lumineux n'ont pas traversé le miroir pour aller se réunir de l'autre côté. Cette image est donc une illusion d'optique. On lui donne le nom

d'*image virtuelle*, car elle tend à se produire ; mais en réalité elle ne se produit pas.

Les illusions d'optique fournies par ces images sont utilisées dans certains cas pour déjouer des fraudes.

13. **Position des images.** — Pour déterminer la position de l'image d'un objet donné, il nous faut recourir à la construction suivante, en nous rappelant que l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion.

Fig. 15.



MN, miroir plan. — L, objet lumineux. — LQ, rayon incident. — PQ, normale. — OQ, rayon réfléchi. — *i*, angle d'incidence, — *r*, angle de réflexion. — L', point de rencontre des rayons.

Soit O *(fig. 15)* l'œil de l'observateur. Comment verra-t-il le point lumineux? Il le verra au point L'.

Du point L, abaissons une perpendiculaire LS sur le miroir MN, et prolongeons-la d'une quantité SL' égale à LS. Joignons le point L' au point O, et la ligne OL' indiquera la direction suivant laquelle l'observateur verra le point L.

Pour le démontrer, joignons le point L au point Q, et menons la perpendiculaire PQ au point d'incidence ; LQ sera le rayon incident, et QO le rayon réfléchi. Il nous suffira de démontrer que l'angle LQP ou *i* est égal à l'angle PQO ou *r*, puisque, d'après la définition, l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence.

Les deux triangles LSQ et L'SQ sont égaux, car ils sont

tous deux rectangles, LS=L'S par construction, et SQ est commun. Ces deux triangles sont donc égaux comme ayant un angle égal compris entre deux côtés égaux chacun à chacun; par suite LQ = L'Q, et les angles LQS et L'QS sont aussi égaux. D'un autre côté, l'angle MQL' est égal à l'angle OQN, comme opposé par le sommet; par suite, l'angle OQN ou *b* égale l'angle LQS ou *a*.

PQ étant perpendiculaire à MN, on a :

$$a + i = 90^{\circ}, \text{ et } b + r = 90^{\circ};$$

d'où $a + i = b + r$, comme $b = a$; en retranchant ces deux quantités, nous avons :

$$i = r.$$

Ce qui démontre que l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion, et que notre construction est exacte.

Par cette construction, nous voyons que pour déterminer le point où est vu un objet L réfléchi par un miroir, il suffit : 1° d'abaisser une perpendiculaire de l'objet L sur le miroir MN; 2° de prolonger cette perpendiculaire LS d'une quantité égale L'S; 3° de joindre ce point L' au point O, où se trouve l'œil de l'observateur.

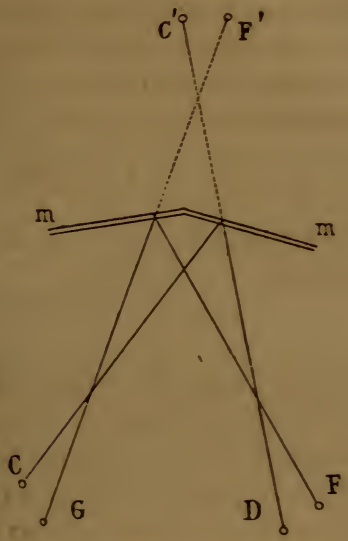
Maintenant que nous connaissons les lois qui président à la réflexion sur les miroirs plans, ainsi que la manière dont se forment les images virtuelles et les illusions qu'ils peuvent produire, il nous sera facile de comprendre la théorie des divers instruments qui, ayant pour base principale un miroir plan, ont été imaginés pour procéder à l'examen de l'œil ou au diagnostic de quelques lésions.

Nous allons donc passer successivement en revue les instruments qui sont principalement constitués par un ou plusieurs miroirs plans.

14. **Appareil de Flees.** — L'appareil de Flees a pour but de déjouer les cas de simulation de cécité monoculaire en

produisant une illusion d'optique, qui induit en erreur celui qui simule la cécité.

Fig. 16.



mm, miroirs plans. — CF, objets. — G, œil gauche. — D, œil droit.

L'appareil de Flees se compose de deux miroirs plans, *mm (fig. 16)* faisant entre eux un angle de 120° et contenus dans une boîte à parois noircies. Sur la paroi antérieure de cette boîte, sont percés deux orifices G et D, pour que l'observé puisse regarder dans les miroirs *mm*. A l'intérieur de cette même paroi, et de chaque côté des orifices G et D, sont placées deux bandes de papier C et F, diversement colorées; ordinairement l'une est blanche, et l'autre rouge.

Pour déterminer la position où ces bandes colorées C et F seront vues par les yeux G et D, nous n'aurions qu'à recourir à la construction que nous avons précédemment indiquée. Du point C, nous aurions à abaisser une perpendiculaire sur le miroir, et nous remarquerions qu'après construction faite, l'œil droit D voit l'image du papier C au

point C', et que cette image est située devant l'œil gauche. En faisant la construction pour l'œil gauche, nous arriverions à ce résultat, que cet œil gauche voit en F' l'image du papier F, et que cette image est située devant l'œil droit.

Dans ces conditions, l'illusion est parfaite. L'individu examiné se figure que chaque image est vue par l'œil en face duquel elle se trouve. Il croit qu'il voit l'image F' avec l'œil droit, tandis qu'elle est vue avec le gauche. Prétend-il ne pas voir de son œil gauche, par exemple, il n'accuse que la sensation de l'image F', parce qu'il est convaincu que cette image est la seule qui est vue par l'œil droit, alors qu'elle est vue par l'œil gauche.

La fraude est ainsi découverte, et la cécité monoculaire alléguée par le simulateur est aussitôt démontrée fausse.

Cet instrument est peu répandu. Il est cependant souvent employé dans les conseils de révision, où il rend de grands services, surtout quand les personnes examinées sont peu intelligentes et non au courant de la théorie de l'instrument.

15. Stéréoscope à charnière de Javal. — M. Javal a imaginé un instrument auquel il a donné le nom de stéréoscope à charnière. Cet instrument a pour but de mesurer la déviation angulaire du strabisme par la méthode subjective.

Voici la description donnée par l'auteur : « Deux miroirs M *(fig. 17)* sont mobiles autour d'une charnière verticale A,

Fig. 17.

M M, miroirs plans. — A, charnière. — BC, planchettes.

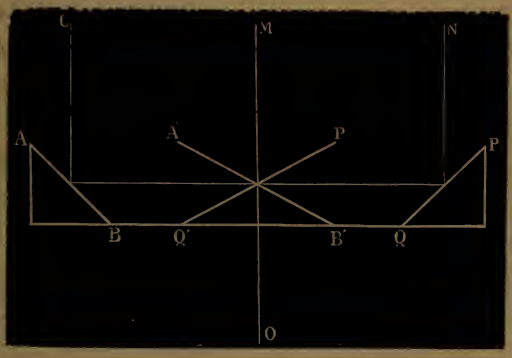
et portent à leur autre extrémité deux planchettes B et C destinées à recevoir les images à observer. Ces planchettes forment chacune, avec le miroir qui la porte, un angle de 45°. En regardant avec un œil dans chacune des glaces,

les images des objets portés par les planchettes sont perçues simultanément, et le malade, en faisant tourner les glaces autour de la charnière A, peut amener ces images à coïncider; puis, ouvrant plus ou moins la charnière avec précaution, et maintenant la fusion, il force ses yeux à diverger ou à converger. En donnant à l'appareil une position oblique, on peut obtenir la fusion, même malgré les différences de hauteur assez considérables. »

Un cercle gradué permet de connaître l'angle formé en A par les deux miroirs MM. Si l'angle est égal à 90°, les deux yeux sont à l'état de parallélisme. Si l'angle est supérieur à 90°, les yeux sont divergents; si l'angle est plus petit, les axes oculaires sont convergents.

16. **Métroscope de Snellen.** — Pour mesurer le saillie du globe oculaire, Snellen d'Utrecht a imaginé un instrument auquel il a donné le nom de métroscope. Cet instrument, composé de quatre miroirs plans, est destiné à mesurer la distance entre le sommet de la cornée et le dos du nez. En

Fig. 18.



C, rayon fourni par le sommet de la cornée. — N, rayon fourni par le dos du nez. — AB, A'B', PQ, P'Q', miroirs plans. — O, œil de l'observateur.

mesurant cette distance pour chaque œil, on peut, en faisant la différence des données obtenues, calculer la saillie de l'œil malade par rapport à l'œil sain.

Le métroscope *(fig. 18)* se compose d'une boîte longue de dix centimètres, sur quatre de largeur. A chaque extrémité se trouvent deux miroirs plans, AB, PQ, faisant avec l'axe de la boîte un angle de 45°. Ces deux miroirs peuvent être approchés isolément du centre, sans changer d'inclinaison, et un curseur gradué indique la distance qui les sépare. Au centre de la boîte se trouvent deux autres miroirs A'B' et P'Q', ayant seulement la moitié de la hauteur des précédents. Ces miroirs fixes sont placés l'un au-dessus de l'autre et orientés de façon à ce que leurs surfaces réfléchissantes soient parallèles au miroir vers lequel ils sont tournés. Ainsi le miroir A'B' est parallèle au miroir AB, et le miroir P'Q' est parallèle à PQ.

Le rayon C venant du sommet de la cornée, sera réfléchi à angle droit par le miroir AB sur le miroir A'B', qui, à son tour, le réfléchira à angle droit en O vers l'œil de l'observateur. Il en sera de même du rayon venant du dos du nez N, qui sera réfléchi vers l'œil de l'observateur par le miroir P'Q'. Si l'observateur rapproche les miroirs PQ et AB jusqu'à ce que les deux images fournies par les miroirs A'B' et P'Q' soient superposées, la distance entre les deux miroirs indiquée par le curseur donnera la distance entre les points C et N, c'est-à-dire entre le sommet de la cornée et le dos du nez.

En répétant la même expérience sur les deux yeux, on pourra calculer le degré de saillie de l'œil malade en faisant la différence entre les données obtenues.

Pour faciliter la perception des images, une petite lunette de Galilée est adaptée à l'instrument dans la direction de la ligne O.

Cet instrument, destiné à mesurer la protrusion de l'œil, n'apprend rien, il est vrai, sur la nature de la maladie, mais il permet de calculer mathématiquement si la lésion qui fait saillir l'œil est progressive, stationnaire ou rétrogressive.

17. **Ophthalmoscope d'Helmholtz.** — L'ophthalmoscope d'Helmholtz, le premier de tous les ophthalmoscopes, est constitué par un miroir plan, formé de lames de verre non étamées. Cet ophthalmoscope est peu usité, car il donne un faible éclairage. Son auteur en a porté le jugement suivant :

« Pour les observations à l'image droite, c'est-à-dire avec un fort grossissement, faites sur des personnes dont on n'a pas dilaté artificiellement la pupille, surtout avec les sujets dont l'œil est très sensible à la lumière, par les motifs que j'ai indiqués plus haut dans la théorie de l'éclairage au moyen des lames de verre non étamées, je persiste à trouver que cet ophthalmoscope à main, le plus anciennement décrit, est celui dont l'usage est préférable. Un œil sain peut supporter des heures, sans en être ébloui, l'éclairage que donne ce miroir; c'est ainsi qu'il m'est souvent arrivé de montrer successivement, avec cet instrument, ma rétine à vingt étudiants, sans en éprouver d'incommodité, tandis que l'œil ne peut guère supporter pendant cinq minutes l'éclairage au moyen des miroirs étamés, sans être fortement ébloui. Aussi je préfère ce miroir aux autres pour la plupart des expériences physiologiques. Pour les oculistes, au contraire, il est plus avantageux d'avoir le champ visuel très étendu et fortement éclairé, en sacrifiant le grossissement; aussi emploient-ils le plus souvent des miroirs étamés percés et des lentilles convexes. »

La dernière réflexion d'Helmholtz explique très bien pourquoi cet ophthalmoscope est si peu usité dans la pratique médicale. Il donne peu de lumière, le champ est peu étendu, circonstances fâcheuses quand il s'agit d'examiner des lésions étendues.

18. **Ophthalmoscope d'Epkens.** — Cet ophthalmoscope qui se compose d'un miroir plan en verre étamé et percé d'un trou à son centre, est monté sur un pied. Cet ophthalmoscope est fixe. Il a été modifié par Donders et Van Trigt, et

il est plus particulièrement réservé à l'examen de la rétine par l'image droite et à la mesure du diamètre des parties de la rétine. Cet instrument est plutôt destiné aux besoins des études physiologiques qu'à ceux de la pratique médicale.

19. **Ophthalmoscope de Saeman.** — Cet ophthalmoscope est portatif. Sa construction est analogue à l'ophthalmoscope d'Epkens.

20. **Ophthalmoscope de Coccius.** — L'ophthalmoscope de Coccius est un ophthalmoscope portatif formé par un miroir plan étamé et percé d'un trou à son centre. Pour obtenir un éclairage plus intense, une lentille convexe est chargée de faire converger sur le miroir les rayons lumineux émis par la lampe. Primitivement le miroir était carré, puis il a été circulaire. De Graefe adapta, en arrière du miroir, une plaque de lentilles concaves glissant dans une coulisse, et permettant l'examen à l'image droite.

Cet instrument s'est peu vulgarisé en France. Son application est difficile, à cause des tâtonnements qu'on est obligé de faire pour donner une position convenable à la lentille qui fait converger les rayons sur le miroir. Il a dû en être de même en Allemagne, car voici ce qu'on lit dans l'*Iconographie* de Sichel : « Un fréquent usage de l'instrument, dit Sichel, m'a appris que les ophthalmoscopes les plus commodes, les plus faciles à manier et les plus parfaits quant aux résultats, sont celui de M. Jaeger et celui de M. Coccius, modifié d'une manière très importante et indispensable par M. A. de Graefe, qui y adapta une plaque de lentilles concaves glissant dans une coulisse. Ce dernier ophthalmoscope ayant été abandonné plus tard par M. de Graefe et repris par moi, pour mon propre compte, je l'appelle aujourd'hui le mien. »

Malgré cette adoption, cet instrument a toujours conservé le nom d'ophthalmoscope de Coccius.

21. **Ophthalmoscope Hugo Gerold.** — M. Hugo Gerold a fait connaître la composition d'un ophthalmoscope qu'il a imaginé pour l'examen de l'image droite; voici la description qu'il en donne :

Dans ces derniers temps, je me suis servi d'un ophthalmoscope plan formé d'un verre bleu, convenablement muni d'un étamage ordinaire. Au moyen de ce miroir, j'ai vu dans un œil emmétrope le bord d'une excavation plus clair que le fond de la cavité. Ce miroir est peu clair; cependant il fournit une lumière convenable.

Nous croyons en effet que ce miroir doit avoir une puissance très faible d'éclairage. Une grande quantité de lumière doit être absorbée avant d'être réfléchie, et nous ne voyons guère les avantages de l'emploi d'un verre coloré. Est-ce de rendre plus sensible la différence de niveau entre les bords et le fond d'une papille excavée? Cet avantage ne constituerait pas une supériorité sur les autres ophthalmoscopes, qui permettent de bien diagnostiquer une excavation quoique le verre qui les compose soit blanc.

L'ophthalmoscope de Hugo Gerold n'a pas dû se vulgariser beaucoup, car je ne trouve cet instrument mentionné autre part que dans la *Physique ophthalmologique* de cet auteur.

22. **Ophthalmoscope Javal.** — L'ophthalmoscope de M. Javal est un miroir plan formé par une lame de verre sur laquelle on a déposé un léger voile de platine métallique, de manière à augmenter le pouvoir réflecteur. En arrière, se trouve une petite lunette de Galilée, pour permettre à l'observateur de percevoir les images rétiniennes.

Cet instrument fournit un très grand grossissement, et peut servir d'optomètre. Pour l'utiliser comme optomètre, on fait mettre au point voulu la lunette de Galilée par le malade lui-même, ou bien on la met soi-même au point voulu par l'examen du fond de l'œil.

Comme le dit M. Gavarret, qui a présenté cet instrument à l'Académie de Médecine, cet ophthalmoscope permet de déterminer exactement la réfraction de l'œil observé, et il fournit un grossissement inconnu jusqu'à ce jour.

En substituant dans la lunette de Galilée des verres cylindriques aux verres sphériques, on peut mesurer l'astygmatisme avec une rapidité surprenante.

23. **Ophthalmoscope à deux faces de Panas.** — Cet ophthalmoscope peut être considéré comme étant la réunion de deux ophthalmoscopes, adossés l'un à l'autre par leur surface étamée. Il se compose de deux miroirs, l'un plan, l'autre concave, présentant au milieu un trou qui leur est commun. Un couvercle en métal noirci et perforé à son centre, pivote autour du collet du manche et peut venir se placer sur l'une ou l'autre face de l'ophthalmoscope, de manière à ce que l'observateur ne soit pas gêné par la lumière que réfléchirait le miroir dirigé vers son œil.

Cet ophthalmoscope n'offre d'autre avantage que celui d'avoir sur une même monture deux miroirs à sa disposition.

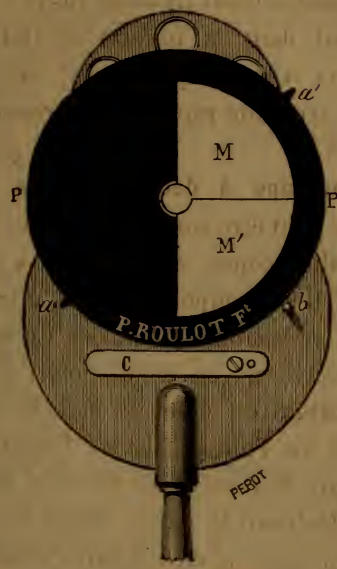
24. **Miroir mi-partie plan et concave de Badal.** — Cet ophthalmoscope est destiné à fournir rapidement au médecin soit un miroir concave, soit un miroir plan.

Il se compose *(fig. 19)* de deux moitiés de miroir M, M', juxtaposées suivant un de leurs diamètres et contenues dans la même monture. Une plaque métallique PP' les recouvre en partie. Cette plaque peut décrire un demi-cercle autour de l'ouverture du miroir comme centre. Suivant que l'une ou l'autre des saillies *a* et *a'* vient buter contre le point d'arrêt *b*, le miroir supérieur M, qui est concave, ou le miroir inférieur M' qui est plan, est entièrement à découvert, l'autre miroir étant au contraire masqué en totalité.

Sans se déranger de son examen, l'observateur peut donc,

par un simple mouvement du doigt, employer successivement chacun des deux miroirs.

Fig. 19.



Miroir mi-partie plan et concave du Dr Badal.

Bien que, dans chaque cas, la surface réfléchissante soit diminuée de moitié, l'éclairage obtenu est très suffisant, même quand on emploie une lampe ordinaire.

BIBLIOGRAPHIE

Coccius, *Ueber die Anwendung des Augenspiegels*. Leipzig, 1853.

Hugo Gerold, *Ophthalmologische Physik*, II, 287.

Javal, *De la neutralisation dans l'acte de la vision*. (*Annales d'oculistique*, LIV, 14. — *Gazette hebdomadaire*, 1870.)

Helmholtz, *Optique physiologique*, p. 249.

Panas, *Bulletin de la Société de Chirurgie*, 17 mars 1875.

Saemann, *De speculo oculi. Regiomonti*, 1853.

Snellen, *Handbuch der gesammten Augenheilkunde*, III, p. 203.

Van Trigt, *Dissertatio de speculo oculi*. Utrecht, 1853.

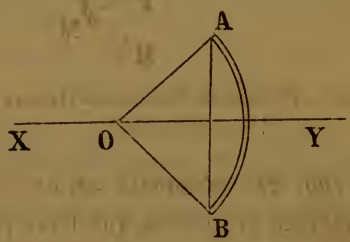
CHAPITRE V

MIROIRS SPHÉRIQUES

25. **Définitions.**— Les miroirs sphériques, les plus usités en ophthalmoscopie, peuvent être considérés comme des sections de sphères creuses. Ceux qui sont destinés à réfléchir la lumière par leur surface concave, sont appelés *miroirs concaves*, et ceux qui sont destinés à réfléchir la lumière par leur surface convexe, sont appelés *miroirs convexes*.

Dans les descriptions et les figures nécessaires à l'explication, on représente les miroirs par l'intersection de leur projection sur le plan de la figure, c'est-à-dire par un arc de cercle.

Fig. 20.



X Y, axe principal. — A B, diamètre du miroir. — O A, O B, rayons de courbure.

La corde AB *(fig. 20)*, ou la plus grande distance entre les bords opposés du miroir, s'appelle le *diamètre du miroir*. L'angle formé par les rayons OA et OB, c'est-à-dire l'angle

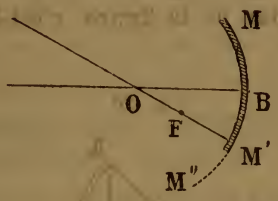
AOB, qui résulte de l'écartement des rayons menés du centre de courbure O aux bords A et B du miroir, s'appelle l'*angle d'ouverture du miroir*. La ligne XY perpendiculaire à la corde AB ou au diamètre du miroir, s'appelle l'*axe principal du miroir*, et le point où cet axe principal rencontre le miroir, s'appelle le *centre de figure du miroir*. L'axe principal jouit de cette propriété, que chacun de ses points est à égale distance des bords du miroir.

Ces définitions que nous venons de donner, sont générales et absolues; elles s'appliquent aussi bien au miroir concave qu'au miroir convexe.

Les miroirs sphériques n'étant que des portions de sphère, ou des calottes sphériques, leur surface se calcule suivant les données géométriques.

26. **Axe secondaire.** — Toute ligne droite qui, coupant obliquement l'axe principal, passe par le centre de courbure O

Fig. 21.



M M' M'', miroir. — O, centre de courbure. — O B, axe principal.
O M', axe secondaire.

du miroir M M' *(fig. 21)*, s'appelle un *axe secondaire*. Cet axe possède les mêmes propriétes que l'axe principal.

Pour s'en convaincre, il faut remarquer que si l'on augmentait la surface du miroir M M' d'une quantité M' M'' telle que le point M' fut à égale distance des bords du miroir M et M'', la ligne O M' serait, d'après notre définition, l'axe principal de ce miroir ainsi augmenté, et le foyer serait au point F. Si l'on supprime la portion M' M'',

les rayons qui arrivaient sur cette portion de surface ne seront plus réfléchis, mais cette circonstance n'empêchera pas les autres rayons de se réfléchir comme auparavant et de venir converger au point F. Il résulte de là que tous les rayons parallèles à un axe secondaire forment leur foyer sur cet axe, foyer qui a été désigné sous le nom de *foyer de l'axe secondaire.*

27. Foyer principal. Foyers conjugués. — Le foyer principal d'un miroir est le point où, après réflexion, viennent se réunir les rayons parallèles à l'axe principal.

Cette définition, exacte pour les miroirs concaves, doit subir une modification pour les miroirs convexes, car ces miroirs ne sont pas traversés par la lumière. Le foyer principal de ces miroirs est déterminé par le point où se réunissent les rayons réfléchis prolongés sur l'axe principal en arrière du miroir.

Il n'y a de foyer principal que lorsque l'ouverture du miroir est petite, car si l'ouverture est très grande, il y a plusieurs foyers qui constituent des caustiques par réflexion; mais en ophthalmologie, les miroirs employés ont une assez petite ouverture pour qu'on puisse négliger ces caustiques. Cependant, nous indiquerons, pour les miroirs concaves seulement, l'influence des grandes ouvertures du miroir sur la position du foyer.

Si les rayons parallèles à l'axe du miroir ont leur foyer à un certain point, point qui se trouve au milieu du rayon de courbure, il n'en est pas de même des rayons qui arrivent sur le miroir dans une autre direction.

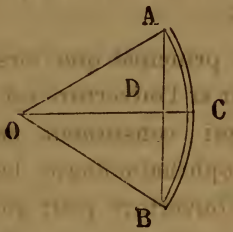
Une lumière placée à des distances variables du miroir aura son foyer qui variera de position. Mais entre la position de la lumière et la position du foyer, il y aura une relation constante. La position occupée par le foyer restant fixe par rapport à une position donnée de la lumière, les deux points sont désignés sous les noms de *foyers conjugués.*

Nous verrons plus tard la relation qui existe entre les foyers conjugués, soit pour les miroirs concaves, soit pour les miroirs convexes.

28. **Détermination de l'angle d'ouverture.** — L'angle d'ouverture d'un miroir exerce une grande influence sur la position du foyer des rayons réfléchis. Si l'angle est très grand, il se forme plusieurs foyers sur l'axe principal. La réunion de ces foyers donne naissance à une surface désignée sous le nom de *surface caustique* ou de *caustique par réflexion*.

L'angle d'ouverture d'un miroir ne peut être calculé que par la trigonométrie, et cela de plusieurs manières, étant connus le diamètre du miroir et le rayon de courbure. Nous allons indiquer le procédé le plus facile :

Fig. 22.



AB, diamètre du miroir. — OC, rayon de courbure.

L'angle d'ouverture à calculer est l'angle AOB *(fig. 22)*. On connaît le rayon et le diamètre, c'est-à-dire les trois côtés du triangle AOB, car OA et OB sont les rayons et AB est le diamètre du miroir.

Dans le triangle AOD, nous connaissons OA qui est le rayon, et AD la moitié du diamètre ; l'angle AOD, ou la moitié de l'angle d'ouverture, nous sera donné par la formule suivante, en désignant le rayon par r, et le demi diamètre AD du miroir par d.

$$\text{Sinus AOD} = \frac{d}{r}.$$

Cette quantité obtenue, nous n'aurons qu'à la doubler pour avoir la valeur de l'angle d'ouverture du miroir.

Exemple. — M. Landolt dit que son ophthalmoscope a 28 millimètres de diamètre et une distance focale de 20 centimètres. Quel est l'angle d'ouverture de ce miroir?

D'après ces données, la moitié du diamètre est de 14 millimètres, et le rayon de courbure, double de la distance focale, est de 40 centimètres ou 400 millimètres.

D'après notre formule, nous aurons donc :

$$\text{Sinus AOD} = \frac{14}{400},$$

ce qui nous donne, pour le calcul par logarithmes :

$$\begin{aligned}
\text{Log Sin AOD} &= 10 + \text{Log } 14 - \text{Log } 400 \\
10 &= 10{,}00000000 \\
+ \text{Log } 14 &= 1{,}14612804 \\
\text{Somme} &= 11{,}14612804 \\
+ \text{Log } 400 &= 2{,}60205999 \\
\text{Log Sin AOD} &= 8{,}54406805 = 2°20'
\end{aligned}$$

L'angle d'ouverture étant le double, est donc de 4°40'.

CHAPITRE VI

MIROIRS CONCAVES

Les miroirs concaves sont les plus usités en ophthalmoscopie, car la plupart des ophthalmoscopes sont construits avec un miroir de ce genre. Il est donc important de connaître les principales propriétés de ces miroirs.

29. **Mesure de la longueur focale principale et du rayon de courbure.**—Dans les descriptions des ophthalmoscopes, il est souvent question de la longueur focale principale du miroir et de son importance pour faciliter l'examen de l'œil, il nous a donc paru utile de signaler la manière dont on peut soi-même faire cette mensuration et connaître ainsi la longueur focale de l'ophthalmoscope que l'on possède.

Le rayon de courbure d'un miroir concave peut être déterminé expérimentalement ou à l'aide de calculs.

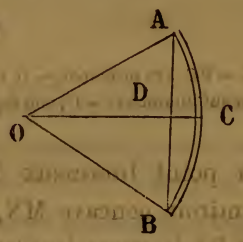
Pour le déterminer expérimentalement, on reçoit sur le miroir les rayons solaires qu'on projette sur un écran. On approche ou on éloigne le miroir de l'écran jusqu'à ce qu'il soit arrivé à une position telle que l'image du soleil se dessine nettement sur l'écran. On mesure alors la distance qui sépare le miroir de l'écran. Cette distance est la longueur focale du miroir, longueur qui est égale à la moitié du rayon.

On peut ainsi projeter sur un écran l'image de la flamme d'une bougie et calculer le rayon de courbure par la relation

de position qui existe entre le point lumineux et son foyer conjugué; on trouvera plus bas cette démonstration.

Si les instruments de mensuration d'une très grande précision étaient très répandus, on pourrait arriver à déterminer exactement le rayon de courbure d'un miroir concave. Il suffirait pour cela de mesurer le diamètre AB du miroir *(fig. 23)* et la hauteur DC.

Fig 23.



A B, diamètre du miroir. — OC, O A, O B, rayon de courbure. — C, centre de figure

Désignons le demi-diamètre A D par d, et la hauteur DC par h. Le triangle OAD étant rectangle en D, par construction, on a

$$\overline{OA}^2 = \overline{AD}^2 + \overline{OD}^2.$$

Comme $OD = OC - DC = r - h$, nous avons, après substitution et élimination, et en désignant le rayon par r,

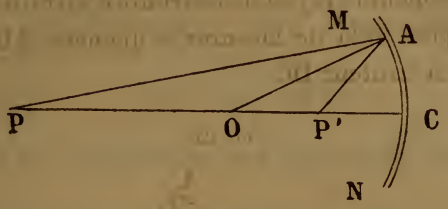
$$r = \frac{d^2 + h^2}{2h}.$$

Ce procédé de mensuration donnerait des résultats précis si l'on pouvait mesurer exactement la quantité h; mais comme cette quantité est toujours représentée par des fractions de millimètre, il est plus simple de déterminer le rayon de courbure par la voie expérimentale.

30. Relation de position entre le point lumineux et son

foyer conjugué. — Il existe une relation constante entre le point lumineux, occupant sur l'axe une position donnée et son foyer.

Fig 24.



MN, miroir concave. — PC, axe principal. — O, centre de courbure.
P, position du point lumineux. — P', son foyer conjugué.

Soit *(fig. 24)* un point lumineux P placé sur l'axe principal PC d'un miroir concave MN, dont le rayon de courbure est OC. Soit PA le rayon incident, le rayon réfléchi sera AP', faisant avec le rayon OA un angle de réflexion OAP' égal à l'angle d'incidence PAO.

Dans le triangle PAP', puisque les angles PAO et OAP' sont égaux, la ligne OA est la bissectrice de l'angle PAP', et, par conséquent, elle divise la base PP' en deux parties proportionnelles aux côtés adjacents, ce qui nous donne la proportion suivante :

$$\frac{PA}{AP'} = \frac{PO}{OP'}.$$

En admettant que l'angle APC est très petit, on peut regarder PA comme sensiblement égal à PC, et AP', comme étant égal à P'C, de sorte que l'équation précédente devient

$$\frac{PC}{P'C} = \frac{PO}{OP'}.$$

Désignons maintenant le rayon OC par $2f$, PC distance du point lumineux au miroir par p, et P'C distance de l'image au miroir par p', et considérons que PO = PC

— OC, et que OP′ = OC — P′C, l'équation ci-dessus prendra la forme

$$\frac{p}{p'} = \frac{p-2f}{2f-p'},$$

équation qui, après avoir chassé les dénominateurs, devient,

$$2fp' + 2fp = 2pp',$$

et en divisant chacun des termes par $2fpp'$, on a

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f},$$

formule définitive qui indique la relation entre les trois quantités p, p' et f pour les miroirs concaves.

Pour p égale l'infini, c'est-à-dire pour le cas où les rayons arrivent parallèles sur le miroir, $p' = f$, le foyer est au milieu du rayon de courbure.

Exemple.—On demande où se trouvera le foyer conjugué de la flamme d'une lampe dont les rayons sont projetés sur un miroir concave. Le miroir a 60 millimètres de longueur focale principale ou 12 centimètres de rayon de courbure, la flamme de la lampe est à 105 millimètres du miroir.

Dans l'équation précédente, en remplaçant p par 105 et f par 60, nous aurons pour obtenir la valeur p'

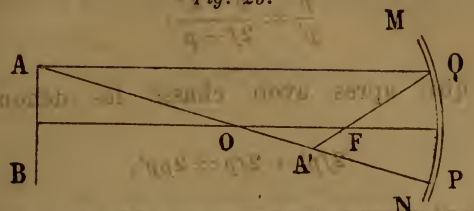
$$\frac{1}{105} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{60}.$$

Après calculs faits, nous trouvons que p' ou le foyer conjugué, se trouve à 14 centimètres du miroir.

31. **Image des objets. Tracé.** — Les miroirs concaves donnent lieu à une image réelle et renversée, réelle car elle peut être reçue sur un écran. Dans la pratique ophthalmologique, cette image réelle peut être projetée sur la rétine et devenir visible à l'observateur.

Pour faire le tracé géométrique de l'image, voici comment on procède :

Fig. 25.



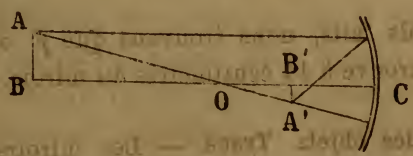
MN, miroir. — AB, objet.

Par le point A de l'objet AB *(fig. 25)*, menons l'axe secondaire AOP. L'image du point A doit se trouver sur cet axe. Par le point A, menons AQ, parallèle à l'axe principal du miroir; joignons le point Q au foyer principal du miroir F et prolongeons cette ligne QF jusqu'à son point de rencontre A′ avec l'axe secondaire AOP, A′ sera l'image du point A. Pour l'image du point B, nous procèderions de la même manière et nous aurions ainsi construit l'image renversée de l'objet AB.

Il faut maintenant trouver la relation entre la grandeur de l'objet et son image.

32. **Relation entre la grandeur de l'objet et son image.** — Pour trouver la relation qui existe entre la grandeur de l'objet et de son image, nous n'avons qu'à rappeler comment se produit l'image.

Fig. 26.



AB, objet. — OC, rayon de courbure. — A′B′, image.

L'objet AB *(fig. 26)* a son image en A′B′.

Les triangles AOB et A′OB′ sont rectangles et les angles

en O sont égaux comme opposés par le sommet. Ces deux triangles sont donc semblables parce qu'ils ont leurs trois angles égaux chacun à chacun, et on a la proportion

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{B'O}{OB}.$$

Mais d'une part,

$$B'O = OC - B'C = 2f - p',$$

et d'autre part,

$$OB = BC - OC = p - 2f.$$

Nous avons donc, en substituant ces valeurs dans la première équation,

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{2f - p'}{p - 2f}.$$

Si, dans cette équation, nous remplaçons p' par sa valeur tirée de l'équation (30),

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f},$$

nous aurons, pour la relation entre la grandeur de l'image et celle de l'objet,

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{f}{p - f}.$$

On voit par là que si l'objet AB conserve les mêmes dimensions, l'image A'B' variera d'étendue suivant que l'objet s'approchera ou s'éloignera du miroir.

Si l'objet AB est à une distance p du miroir supérieure à $2f$, c'est-à-dire supérieure à la longueur du rayon de courbure du miroir, l'image A'B' sera plus petite que AB et d'autant plus petite que p sera plus grand.

Exemple. — On demande quelle est la grandeur de

l'image de la flamme d'une lampe qui a 2 centimètres de diamètre, et qui est placée à 55 centimètres de distance d'un miroir concave dont la longueur focale principale est de 15 centimètres.

La distance, 55 centimètres, étant supérieure à 30 centimètres, rayon de courbure du miroir, l'image sera plus petite. En remplaçant les lettres f et p de la formule ci-dessus par leurs valeurs, et sachant que l'objet a 2 centimètres de diamètre, nous avons, pour calculer la grandeur de l'image,

$$\frac{A'B'}{2} = \frac{15}{55 - 15};$$

d'où nous tirons, pour la valeur de l'image A'B', 7 millimètres 5.

Si l'objet AB est à une distance p du miroir égale à $2f$, c'est-à-dire s'il se trouve au centre de courbure du miroir, l'image sera aussi grande que l'objet.

Exemple. — La flamme d'une lampe a un diamètre de 2 centimètres. La lampe est placée à 40 centimètres d'un miroir concave, dont la longueur focale principale est de 20 centimètres. Quelle est la dimension de l'image fournie par ce miroir?

La distance, 40 centimètres, étant égale au rayon de courbure du miroir, l'image sera aussi grande que l'objet. En effet, en remplaçant les lettres de la formule par les chiffres donnés, on a

$$\frac{A'B'}{2} = \frac{20}{40 - 20};$$

d'où nous tirons, pour la valeur de l'image A'B', 2 centimètres, c'est-à-dire une étendue aussi grande que la flamme de la lampe.

Si l'objet AB est à une distance p inférieure à $2f$ ou au

rayon de courbure du miroir, l'image A'B' est plus grande que l'objet.

Exemple. — Un miroir concave a 25 centimètres de longueur focale principale. Une lampe, dont la flamme a 2 centimètres de diamètre, est placée à 35 centimètres du miroir, on demande quelle est l'étendue de l'image fournie par le miroir.

La flamme de la lampe étant située à 35 centimètres du miroir, est éloignée du miroir d'une quantité inférieure à 50 centimètres, rayon de courbure du miroir. L'image sera donc plus grande que la flamme de la lampe.

En nous servant de la formule et des chiffres donnés, nous avons pour calculer la grandeur de l'image

$$\frac{A'B'}{2} = \frac{25}{35-25},$$

équation qui nous donne 5 centimètres pour la grandeur de l'image, c'est-à-dire une valeur supérieure à 2 centimètres.

Toutes ces relations peuvent être résumées ainsi :

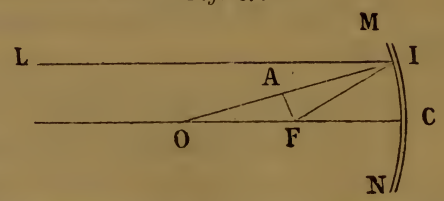
Pour $p > 2f$, image plus petite que l'objet.

Pour $p = 2f$, image aussi grande que l'objet.

Pour $p < 2f$, image plus grande que l'objet.

33. **Caustiques par réflexion.** — Dans la discussion sur la

Fig. 27.



MN, miroir. — LI, rayon incident. — OC, axe principal. — O, centre de courbure.

formule des miroirs, nous avons admis (30) que le foyer F pes rayons réfléchis se trouvait au milieu du rayon de

courbure, mais pour arriver à ce résultat, nous avons supposé que l'angle IOC était très petit, et que les lignes OI et IF étaient égales à OC et FC. Quand l'angle IOF est grand, cette hypothèse est inadmissible et la position F du foyer varie suivant l'étendue de l'angle IOC *(fig. 27)*.

Il nous reste donc à examiner ce que devient FC, ou la distance du foyer au miroir, par rapport à la valeur de l'angle IOC.

Soit un rayon LI, parallèle à l'axe principal du miroir concave MN, et venant frapper ce miroir au point I. OI est le rayon de courbure du miroir et par suite la normale au point d'incidence. Le rayon lumineux LI se réfléchit en F en faisant un angle OIF égal à l'angle LIO. L'angle IOF est égal à l'angle LIO comme alterne interne et à l'angle OIF, puisque ce dernier est égal à l'angle LIO. Le triangle OIF est donc isocèle, car deux de ses angles sont égaux.

Du point F, abaissons sur OI une perpendiculaire FA. Comme le triangle OIF est isocèle, la perpendiculaire FA divise la base OI de ce triangle en deux parties égales, OA = AI. Le rayon de courbure OI du miroir est donc divisé en deux parties égales, au point A.

Dans le triangle rectangle OAF, en désignant par a l'angle AOF, nous avons

$$OA = OF \cos a.$$

comme OA est la moitié du rayon de courbure, R, on a

$$\frac{R}{2} = OF \cos a$$

et

$$OF = \frac{R}{2 \cos a}.$$

La valeur OF étant obtenue, il nous sera facile de déterminer la valeur de FC, que nous désignerons par p'

$$FC = OC - OF = R - OF.$$

Remplaçant dans cette équation OF par sa valeur, nous avons

$$p' = R - \frac{R}{2\cos a}.$$

On voit par là que si le miroir a un angle d'ouverture très grand, le foyer des rayons parallèles à l'axe principal n'occupe pas le milieu du rayon de courbure du miroir et que la position du point p' varie suivant la valeur de cet angle.

Quand l'ouverture d'un miroir est très grande, il y a aberration de sphéricité et caustiques par réflexion. Ce phénomène est toujours un inconvénient pour la netteté de l'éclairage. Dans son traité de physique, M. Daguin admet, comme limite extrême de l'angle d'ouverture des miroirs, 10° à 15°. Cette valeur est trop grande pour les besoins de la pratique ophthalmologique. Je crois qu'il faut prendre en moyenne 5°. Au-dessus de ce chiffre, l'éclairage fourni par le miroir laisse à désirer, à cause des caustiques par réflexion.

34. **Ophthalmoscopes à miroir concave.** — Les ophthalmoscopes à miroir concave sont très nombreux et très répandus. Ruete les employa le premier en 1852 et il ne tarda pas à être suivi par Jœger, Ulrich, Stellwag von Carion, Heyfelder, etc., etc.

Ces ophthalmoscopes sont si nombreux et souvent se ressemblent si bien, qu'il serait superflu de les décrire tous. Nous nous bornerons à signaler plus particulièrement ceux qui ont vu le jour en France et qui ont été souvent mentionnés dans notre littérature. Beaucoup de ces ophthalmoscopes ne sont que des imitations de celui de Stellwag von Carion.

Le premier ophthalmoscope qui se répandit le plus vite en France, fut l'ophthalmoscope portatif de Jœger. Il

consistait en un miroir concave, derrière lequel on plaçait des lentilles convexes ou concaves. La distance entre ces lentilles et le miroir était trop grande pour être d'une grande utilité. Cet ophthalmoscope ne pouvait servir qu'à l'étude de l'image renversée. Il ne tarda pas à être remplacé par d'autres. Sichel contribua beaucoup à sa vulgarisation en France.

35. **Ophthalmoscope d'Anagnostakis.** — M. Anagnostakis, aujourd'hui doyen et professeur d'ophthalmologie à la Faculté de médecine d'Athènes, inventa un ophthalmoscope pendant qu'il était chef de la clinique ophthalmologique de M. Desmarres. Voici la description qu'il en donne : «Mon instrument, dit-il, consiste tout simplement en un petit miroir concave, rond, d'un diamètre de 5 centimètres, d'une distance focale de 4 pouces et demi et dont la surface étamée est recouverte par une plaque en cuivre noirci. Le centre de ce miroir est percé d'une ouverture évasée, d'un diamètre de 4 millimètres. Un petit manche en ivoire sert à tenir l'instrument. »

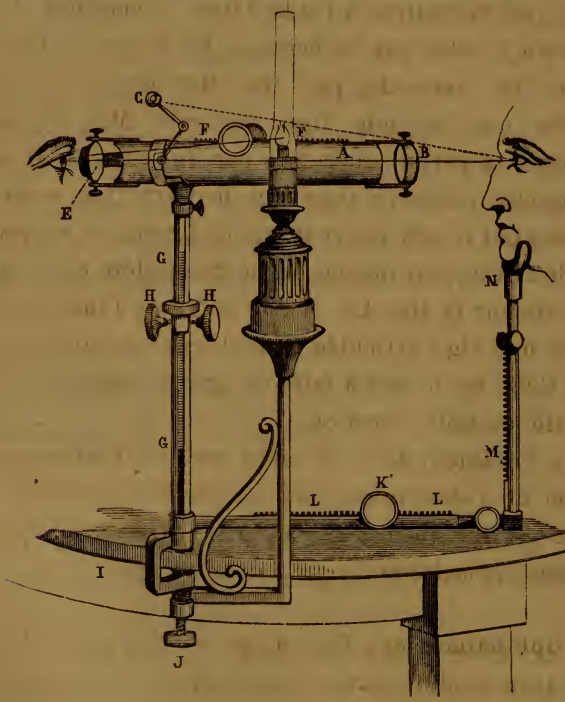
Ce miroir, ayant un diamètre de 5 centimètres et un rayon de courbure de 243 millimètres, doit donner naissance à des caustiques par réflexion, car il a un angle d'ouverture plus grand que 11°.

36. **Ophthalmoscope mobile Follin.** — Voici comment M. Follin décrit l'ophthalmoscope qui a porté son nom : « Je me sers ordinairement d'un miroir concave de verre de 25 centimètres de foyer, étamé dans toute son étendue, à l'exception de son centre, où l'étamage a été enlevé dans un cercle de 4 millimètres de diamètre. Ce miroir est porté sur un cadre qui est vissé sur un manche. Derrière ce miroir est un cercle dans lequel on peut déposer et fixer, à l'aide de tiges mobiles, des lentilles biconvexes ou biconcaves. J'emploie aussi un ophthalmoscope derrière lequel se trouve

un disque mobile sur son centre et portant six petites lentilles, trois concaves et trois convexes, qui peuvent venir se placer successivement en arrière de la partie centrale détamée du miroir et sont destinées à modifier la marche des rayons lumineux arrivant à l'œil de l'observateur. »

37. **Ophthalmoscope fixe Follin et Nachet.** — Cet ophthalmoscope, qui n'est qu'une variante de l'ophthalmoscope fixe de Liebreich, est le premier ophthalmoscope

Fig. 28.



Ophthalmoscope fixe de Follin et Nachet.

construit en France. Il se compose *(fig. 28)* d'un corps formé de deux tubes de cuivre, A, qui se meuvent l'un sur l'autre à l'aide d'une crémaillère FF et d'un piton à

engrenage. A l'une des extrémités de ce corps est placé un miroir concave E, de 25 centimètres de foyer, étamé. excepté à son centre, et mobile autour d'un de ses diamètres, de manière à pouvoir varier ses inclinaisons. A l'autre extrémité de ce corps, est placée une lentille biconvexe B. Les deux tubes étant mobiles, le miroir et la lentille peuvent être éloignés ou rapprochés l'un de l'autre. L'instrument peut tourner sur son axe vertical, ce qui permet d'aller chercher la lumière dans toutes les directions.

L'instrument est supporté par une tige GG qui peut être allongée ou raccourcie à l'aide d'une crémaillère H et qui est fixée à la table par un écran J. De la partie inférieure de cette tige verticale, part une tige horizontale LL qui supporte une seconde tige verticale MN, mobile, et terminée à sa partie supérieure par une plaque concave N sur laquelle l'observé pose son menton. Les deux tiges verticales GG et MN peuvent être éloignées ou rapprochées l'une de l'autre, au moyen de la crémaillère et de la vis K qui existe sur la tige LL. Sur le corps de l'instrument est adaptée une tige articulée C, mobile et terminée par une boule. Cette boule sert à faire diriger le regard du malade dans telle ou telle direction.

Pour l'examen de l'œil avec cet ophthalmoscope, la position de l'observateur, de la source lumineuse et du malade est indiquée dans la figure ci-dessus, empruntée au *Traité des maladies des yeux* de M. Meyer.

38. **Ophthalmoscope Desmarres.** — Cet ophthalmoscope a subi trois modifications. Il se composait d'abord de deux miroirs concaves adossés l'un à l'autre par leur surface étamée. L'ouverture était placée en dehors du centre de figure. La seconde modification a été la suivante : le miroir est en acier et le trou central est remplacé par deux petits trous situés chacun à l'une des extré-

mités du diamètre transversal. « La petitesse de ces trous, dit M. Desmarres, et leur position très près de la circonférence ont pour avantage de laisser à la lumière toute sa netteté, » et l'on peut ajouter, de placer l'observateur sur les bords du cône lumineux réfléchi, ce qui est une très mauvaise condition. Aussi survint une troisième transformation. Le miroir devint un simple miroir concave en acier avec un trou unique au centre, ce qui était préférable; mais comme l'angle d'ouverture est très grand, il donne naissance à des caustiques et fournit peu d'éclairage.

39. **Ophthalmoscope Castorani.** — L'ophthalmoscope de M. Castorani a été construit par M. H. Soleil. Il se compose d'un miroir concave de 20 centimètres de rayon et de 32 millimètres de diamètre. La lentille biconvexe a 55 millimètres de foyer. La lentille et le miroir sont enchâssés dans une monture analogue à celle des loupes à herboriser. Pour s'en servir, on enlève la lentille, et le couvercle de la monture sert de manche pour tenir le miroir.

Sous cette forme, l'instrument est très portatif et il peut servir à la fois de loupe et d'ophthalmoscope, mais il a l'inconvénient de donner des caustiques par réflexion parce que son angle d'ouverture est d'environ 9° 10′ 36″.

M. le Dr Monoyer a eu aussi l'idée de faire construire par M. Nachet un ophthalmoscope ayant la forme et la disposition d'une loupe fermante, et contenant en plus un disque avec de petites lentilles pour l'examen de l'image droite. Cette idée lui fut suggérée par l'examen d'un ophthalmoscope, construit d'après ce système, que le Dr Hart de Londres lui avait présenté.

Dans une lettre adressée aux *Annales d'oculistique,* le Dr Lawrence a fourni des détails importants sur l'historique de cette forme donnée aux ophthalmoscopes. « En 1858, dit-il, feu Ross, célèbre opticien de Londres, avait construit

pour moi un ophthalmoscope absolument identique, par sa monture, à celui décrit par M. Monoyer, et, si mes souvenirs sont exacts, mon ophthalmoscope était lui-même construit sur le modèle d'un instrument semblable appartenant à M. le professeur Warthon Jones, dont j'étais alors l'élève. Quant à ce dernier, je ne sais qui a inventé l'espèce de monture dans laquelle il était établi. »

Il est difficile de savoir à qui revient la priorité de cette forme donnée à l'ophthalmoscope. L'instrument de Castorani date de 1856. Est-il antérieur ou postérieur à celui de Warthon Jones? Le *Traité des maladies des yeux* de cet auteur, qui a paru en 1855, et qui a été traduit en français en 1862, ne fait aucune mention de cette forme d'ophthalmoscope. En l'absence de données sur ce qui concerne la priorité, nous avons décrit cet ophthalmoscope sous le nom de Castorani.

40. Ophthalmoscope achromatique d'Arthur Chevalier. — Cet instrument ne mérite pas à proprement parler ce nom, car c'est un ophthalmoscope mobile ordinaire. Les lentilles sont seulement des lentilles achromatiques au lieu d'être des lentilles ordinaires.

Cet ophthalmoscope, présenté à l'Académie des Sciences et à la Société de Chirurgie, s'est peu vulgarisé, car les lentilles ordinaires fournissent des images assez nettes pour se dispenser de recourir à des lentilles achromatiques.

A la Société de Chirurgie, M. Désormeaux a apprécié cet ophthalmoscope de la manière suivante : « M. Arthur Chevalier me charge de faire connaître une modification qu'il a apportée aux ophthalmoscopes. Cette modification consiste dans la substitution de lentilles achromatiques *crown* et *flint* aux lentilles biconvexes et biconcaves. Elle peut s'appliquer à tous les ophthalmoscopes, de quelque nature qu'ils soient. L'avantage de ces lentilles est évident en théorie. Personne ne voudrait aujourd'hui d'un micro-

scope ou d'une simple lunette de spectacle qui ne serait pas achromatique, le bon marché même ne ferait pas accepter un pareil instrument. On ne comprend guère qu'il en soit autrement pour les ophthalmoscopes, surtout si on fait attention que dans ces instruments on se sert presque toujours des parties excentriques de la lentille, vu qu'on la place obliquement pour éviter des reflets. Il en résulte qu'avec les lentilles simples, on a une image altérée dans sa forme et sa coloration et lors même que les aberrations ne seraient pas sensibles à la vue, elles seraient cependant suffisantes pour fatiguer l'œil de l'observateur. J'ai plusieurs fois employé l'instrument que j'ai l'honneur de présenter et je crois pouvoir dès à présent lui reconnaître deux qualités : les images qu'il donne sont d'une grande netteté et l'observation peut être prolongée plus longtemps qu'avec les autres instruments que j'ai employés, sans causer de fatigue à l'observateur. »

Au point de vue théorique, les lentilles achromatiques seraient très utiles; mais en pratique, comme la distance entre l'œil et la lentille est très petite, et que, d'un autre côté, l'iris joue le rôle de diaphragme, il y a si peu d'aberration sphérique que les lentilles ordinaires suffisent à l'examen ophthalmoscopique. On conçoit dès lors très bien que malgré les avantages signalés par Désormeaux, et les inconvénients un peu trop exagérés par lui des lentilles ordinaires, l'ophthalmoscope achromatique d'Arthur Chevalier soit si peu répandu.

41. **Ophthalmoscope Liebreich.** — Deux ophthalmoscopes portent le nom de Liebreich, l'un fixe et l'autre mobile. L'ophthalmoscope fixe a servi de modèle à celui de Follin et Nachet. Il est donc inutile d'en faire la description. Cet ophthalmoscope a, du reste, été peu répandu en France et il a subi plusieurs modifications.

Il en a été de même du petit ophthalmoscope mobile

de Liebreich qui était d'abord métallique. On le fait maintenant en verre étamé. Il est muni en arrière d'un support *(fig. 29)* qui permet à l'observateur de pouvoir enchâsser des verres pour l'observation de l'image droite.

Fig. 29.

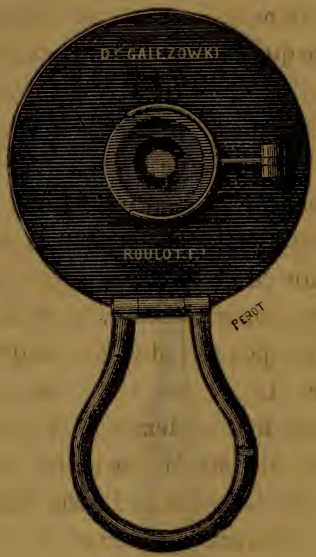
Ophthalmoscope Liebreich.

Cet ophthalmoscope n'est qu'une imitation de celui de Stellwag von Carion. Il en est de même du suivant.

42. **Ophthalmoscope Galezowski.** — M. Galezowski décrit ainsi cet ophthalmoscope : « Je donne ordinairement la préférence aux miroirs concaves de 23 à 25 centimètres de foyer, faits de verre très mince et étamé *(fig. 30)*. Au centre de ce miroir, l'étamage est enlevé sur une étendue de 5 millimètres de diamètre. Le miroir est enchâssé dans un encadrement métallique auquel est fixé un manche pliant, pouvant s'abattre sur le miroir, ce qui le rend plus portatif. Une fourche fixée derrière le miroir et munie à

volonté d'une lentille convexe n° 12, pour faciliter l'examen d'hypermétrope ou presbyte, ou bien une lentille concave n° 10, pour l'examen de l'image directe de la rétine, peut se placer vis-à-vis du trou central du miroir. Cet ophthal-

Fig. 30.



Ophthalmoscope Galezowski.

moscope est porté dans une petite boîte qui contient aussi une loupe de 2 1/4 pouces de foyer, enchâssée dans un cercle métallique. Cet instrument tel que nous venons de le décrire, est le plus portatif de tous. »

Cet instrument ressemble beaucoup à celui de M. Liebreich. Les lentilles qu'il contient ne sont pas assez nombreuses pour suffire à tous les cas de la détermination de la réfraction de l'œil observé par le procédé de l'image droite, et pour ce procédé, un trou de 5 millimètres de diamètre d'étendue est trop grand pour donner des images très nettes.

M. Galezowski a fait construire aussi un autre ophthal-

moscope composé d'un miroir concave et de deux tubes rentrants comme une lorgnette. L'extrémité objective est garnie d'un bourrelet élastique, disposé de façon à pouvoir s'appuyer sur l'orbite du malade et à former une chambre noire autour de l'œil examiné.

Ainsi disposé, cet instrument permet de pratiquer l'examen de la cavité oculaire dans une chambre claire et au lit du malade, ce qui est très important dans les services hospitaliers.

Cet ophthalmoscope a subi plusieurs modifications. Il fut d'abord présenté à l'Académie de Médecine, le 7 janvier 1862, tel que nous venons de le décrire. Le 24 avril 1865, il était présenté à l'Académie des Sciences, avec la modification suivante : l'un des tubes supportait une tige mobile terminée par une boule destinée à être fixée par le malade, de manière à pouvoir obtenir une direction donnée de l'œil à examiner. Le 22 mai 1866, cet instrument était de nouveau présenté à l'Académie de Médecine avec une modification introduite par M. Laugier. M. Laugier eut l'idée de faire adapter au corps de l'instrument un support destiné à soutenir la source lumineuse.

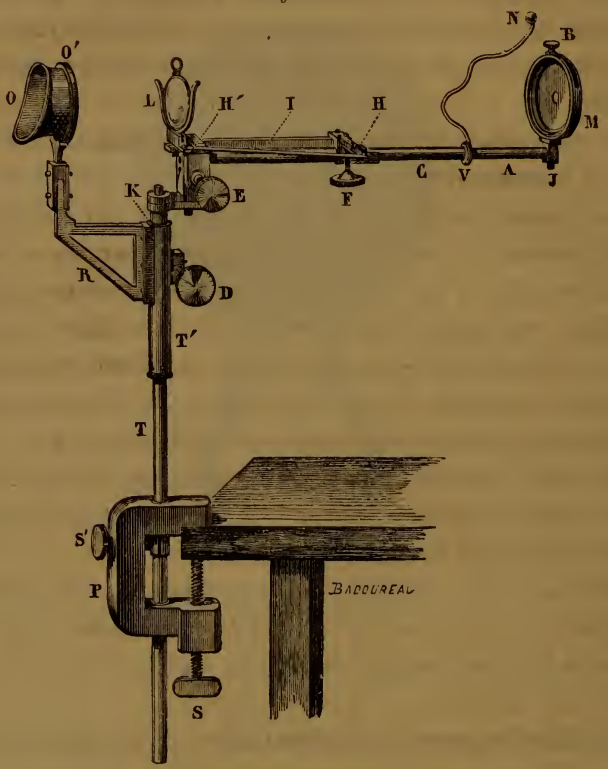
Telles sont les modifications successives de cet ophthalmoscope qui, d'après M. Landolt, ne serait qu'une imitation de celui de M. Liebreich.

43. Ophthalmoscope fixe de Montméja. — D'après M. Meyer, au traité duquel nous empruntons la figure suivante, cet ophthalmoscope serait une simplification de celui de Liebreich. Nous pensons au contraire qu'il est plus compliqué dans son mécanisme, ainsi que cela va ressortir de la description.

Cet ophthalmoscope *(fig. 31)* peut être fixé au coin d'une table par un écrou P au moyen d'une vis S. Sur la branche verticale T, se meut un tube T', qui peut être élevé ou abaissé au moyen de la vis D. Ce tube T' supporte

un tube OO′ échancré, destiné à se placer sur l'œil que l'on veut observer. La branche horizontale supporte une fourche où l'on peut placer une lentille convexe L. Cette lentille peut être élevée ou abaissée, et même inclinée à l'aide des

Fig. 31.



Ophthalmoscope fixe de Montméja.

vis E et F. Au point V, se trouve une branche terminée par un bouton N, destiné à arrêter la fixation du regard de l'œil observé. Enfin à l'extrémité de cette branche horizontale est placé un miroir concave M qui, à l'aide du bouton B, peut prendre sur l'axe différentes positions d'inclinaison.

Cet ophthalmoscope est surtout utile pour prendre des dessins des lésions observées.

44. **Ophthalmoscope de Burke.** — L'ophthalmoscope de Burke se compose de deux miroirs concaves. Le premier reçoit les rayons lumineux d'une lampe située à son foyer et il réfléchit ces rayons sur le second miroir, qui les projette dans l'œil observé. L'observateur, dont l'œil est placé derrière le trou du premier miroir, voit l'image du fond de l'œil qui se trouve au foyer conjugué du second miroir. Si le second miroir avait un trou au centre, un second observateur, se plaçant derrière ce trou, pourrait voir comme dans le procédé ophthalmoscopique ordinaire.

Les rayons réfléchis par le premier miroir sont parallèles, puisque la lumière est placée au foyer principal de ce miroir. Ceux qui sont réfléchis par le second miroir forment leur foyer au foyer principal de ce miroir.

Il résulte de là que si l'œil observé est emmétrope, l'image rétinienne vient se former au foyer principal du second miroir. Cette image est réelle et renversée.

Si l'œil observé est hypermétrope, l'image de la rétine se forme entre le second miroir et son foyer principal, à une distance du miroir qui varie suivant le degré de l'hypermétropie.

Quand l'œil observé est myope, l'image rétinienne fournie par le second miroir est tantôt réelle et tantôt virtuelle, suivant le degré de la myopie.

Cet instrument, qui pourrait servir à l'examen de l'œil par deux observateurs à la fois, est peu commode pour l'examen par un seul observateur, car à quoi bon employer deux miroirs pour percevoir une image que l'on peut voir avec un seul?

L'ophthalmoscope de M. Burke se rapproche un peu du microscope de Smith. Si la disposition est différente, l'idée est la même. Voici comment Lacaille décrit ce microscope. « Smith décrit aussi un microscope formé de deux miroirs sphériques, l'un concave et l'autre convexe, percés tous

deux d'un trou rond, fait dans leur milieu, pour laisser un passage libre aux rayons de lumière. On place l'objet entre le centre et le foyer du miroir concave, et les rayons qui sont réfléchis sur ce miroir sont reçus sur le miroir convexe, qui les renvoie former l'image vers le trou du miroir concave où on la voit par le moyen d'un oculaire. »

BIBLIOGRAPHIE

Anagnostakis, *Essai sur l'exploration de la rétine et des milieux de l'œil sur le vivant au moyen d'un nouvel ophthalmoscope (Annales d'oculistique*, t. XXXI, p. 81, 1854).

Burke, *Gazette hebdomadaire*, p. 329, 1870.

Castorani, *Archives d'ophthalmologie*, t. VI, p. 254, 1856.

Chevalier, *Hygiène de la vue*, p. 317. Paris, 1862.

Desmarres, *Traité théorique et pratique des maladies des yeux*, t. III, p. 768. Paris, 1858.

Follin, *Leçons sur l'exploration de l'œil*, p. 49. Paris, 1863.

Galezowski, *Traité des maladies des yeux*, p. 466. Paris, 1872.

Lacaille, *Traité d'optique*, p. 122. Paris, 1808.

Lawrence, *Annales d'oculistique*, LIII, p. 95, 1865.

Monoyer, *Un ophthalmoscope portatif* (*Annales d'oculistique*, LII, p. 210, 1864).

CHAPITRE VII

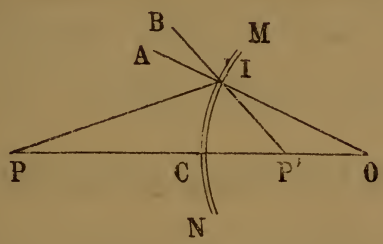
MIROIRS SPHÉRIQUES CONVEXES

45. **Miroirs sphériques convexes.** — Les miroirs sphériques convexes sont peu usités comme construction d'ophthalmoscopes, car ils fournissent un éclairage médiocre, inférieur à celui des miroirs plans.

Ces miroirs fournissent des images droites et virtuelles; comme les milieux réfringents de l'œil, cornée et cristallin, fournissent aussi des images virtuelles dont l'étude sert à la détermination de quelques particularités de l'œil, il est bon de ne pas ignorer la théorie des miroirs de ce genre.

46. **Relation de position entre le point lumineux et son foyer conjugué.** — Soit *(fig. 32)* un point lumineux P situé

Fig. 32.



MN, miroir. — PO, axe principal. — IO, rayon de courbure.

sur l'axe principal PO d'un miroir convexe MN, dont le rayon de courbure est OC. Soient PI le rayon incident, BI le rayon réfléchi dont le prolongement IP′ coupe l'axe PO au point P′,

point où se forme l'image de P, vu dans la direction BI. Il s'agit de chercher la relation entre les points P et P'.

Dans tout triangle, les côtés étant entre eux comme les sinus des angles opposés, nous avons, dans le triangle POI,

$$\frac{OP}{IP} = \frac{\sin OIP}{\sin IOP}.$$

Comme l'angle OIP est égal à deux angles droits, moins l'angle PIA ou son égal P'IO, nous pouvons remplacer sinus OIP par sinus P'IO. Quant au sinus IOP, il est évidemment égal à sinus IOP', de sorte que nous pouvons écrire

$$\frac{OP}{IP} = \frac{\sin P'IO}{\sin IOP'}.$$

Dans le triangle IOP', nous avons par la même raison,

$$\frac{P'O}{IP'} = \frac{\sin P'IO}{\sin IOP'}.$$

Ces deux équations nous donnent

$$\frac{OP}{IP} = \frac{P'O}{IP'}.$$

En désignant OP par $p+2f$, IP par p, P'O par $2f-p'$ et IP' par p', et en remplaçant dans cette équation les termes OP, IP, etc., par leurs valeurs $p+2f$, p, etc., nous avons

$$\frac{p+2f}{p} = \frac{2f-p'}{p'}.$$

Chassant les dénominateurs et divisant le tout par $2fpp'$, il vient

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = -\frac{1}{f},$$

qui est la formule des miroirs convexes et qui ne diffère de celle des miroirs concaves que par le changement des signes des valeurs p' et f.

Exemple. — Une lumière étant placée à 60 centimètres d'un miroir convexe dont la distance focale principale est de 20 centimètres, on demande où se trouve le foyer conjugué, c'est-à-dire l'image virtuelle de la lumière.

En nous reportant à notre formule, p est ici 60, f 20, et il s'agit de déterminer p'. En remplaçant les lettres p et f par les valeurs données, nous avons

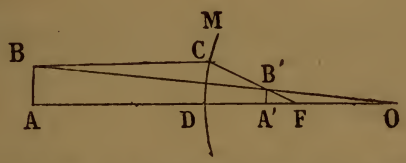
$$\frac{1}{60} - \frac{1}{p'} = -\frac{1}{20};$$

D'où nous tirons p' égale 15 centimètres. L'image sera donc à 15 centimètres en arrière du miroir.

47. **Image des objets. Construction.** — Les miroirs convexes donnent une image droite et virtuelle. C'est grâce à cette propriété que nous nous voyons dans l'œil que nous fixons, car la cornée, quoique n'étant pas réellement un miroir sphérique, est néanmoins un miroir convexe, qui fournit des images droites et virtuelles.

Voici comment, dans les traités de physique, on indique la manière de déterminer graphiquement l'image.

Fig. 33.



M, miroir. — AB, objet. — A' B', centre de courbure. — F, foyer principal.

Supposons un objet AB, perpendiculaire à l'axe principal AO, du miroir M *(fig. 33)*. Il s'agit de construire l'image A'B'.

Joignons le point B au point O. La ligne BO sera un axe secondaire, sur lequel se trouvera l'image du point B.

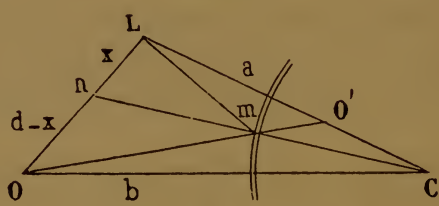
Menons ensuite BC, parallèle à l'axe principal AO, et joignons le point C au point F. Cette ligne CF rencontre l'axe secondaire BO au point B′ qui est le lieu où se forme l'image du point B. Pour obtenir l'image du point A, du point B′, nous abaissons une perpendiculaire sur AO, et le point A′ est l'image du point A. Ainsi se trouve tracée l'image A′B′ de l'objet AB.

Telle est la construction indiquée dans les traités de physique. Mais quand nous examinons les images fournies par la cornée ou par la face antérieure du cristallin, ce n'est pas la lumière qui se trouve sur l'axe principal, c'est l'œil de l'observateur; les conditions sont toutes différentes et cette construction ne saurait convenir.

Comment, dans ces cas, doit-on déterminer le siége et la position de l'image?

Voici la construction que nous proposons :

Fig. 34.



OC, axe principal. — LC, axe secondaire. — C, centre de courbure du miroir. — L, point lumineux. — O, œil de l'observateur. — *d*, distance de la lumière L à l'œil de l'observateur O.

Supposons le problème résolu. La lumière L fournit un rayon L*m* qui fait avec la normale *n*C, au point d'incidence *m*, un angle L*mn* qui est égal à l'angle de réflexion *nm*O. La droite L*m* est donc le rayon incident et O*m* est le rayon réfléchi. Le rayon réfléchi étant prolongé, rencontre l'axe secondaire LC en O′ qui est le point où est située l'image de la lumière L. L'œil de l'observateur verra donc l'image du point lumineux L au point O′.

Pour savoir comment nous devons faire la construction de cette image, il faut connaître la distance d qui sépare la lumière de l'œil de l'observateur, celle a qui existe entre la lumière et le miroir, celle b entre l'œil et le miroir. Ces distances connues, joignons le point L au point O et prolongeons la normale Cm jusqu'à sa rencontre n avec la droite LO.

Dans le triangle LmO, mn étant la bissectrice de l'angle m, nous avons la relation suivante :

$$\frac{Lm}{mO} = \frac{Ln}{nO}.$$

Vu la distance de la lumière et de l'œil de l'observateur au miroir, on peut très bien, sans erreur sensible, substituer dans cette équation a à Lm, et b à mO et l'équation précédente devient

$$\frac{a}{b} = \frac{Ln}{nO} = \frac{x}{d-x};$$

d'où

$$x = \frac{ad}{a+b}.$$

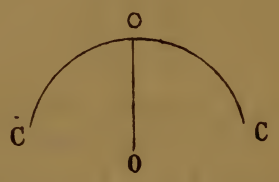
On voit par là qu'étant connues les distances a de la lumière et b de l'œil observateur au miroir, d celle qui existe entre la lumière et l'œil de l'observateur, il suffit de mener la droite LO, de prendre sur cette droite, à partir du point L, une quantité x déterminée par l'équation ci-dessus. Le point n ainsi fixé, on le joint au centre de courbure du miroir. Par le point m où cette droite nC rencontre le miroir, nous faisons passer la droite Om jusqu'à sa rencontre O′ avec l'axe secondaire LC. Ainsi se trouve déterminée la position de l'image et la direction suivant laquelle elle est vue.

48. **Détermination de l'angle α.** — Nous verrons à l'article

des miroirs ellipsoïdes comment se détermine exactement l'angle α. Disons maintenant, sans entrer en discussion sur la différence entre l'angle α et l'angle γ, que l'on désigne en général sous le nom d'angle α, l'angle que fait l'axe visuel avec l'axe principal de la cornée.

Pour déterminer approximativement cet angle, M. Javal utilise l'image fournie par la cornée. Voici comment il procède.

Fig. 35.



O, œil observé et centre d'une demi-circonférence CC graduée en degrés.
0, zéro de la graduation.

L'œil observé O *(fig. 35)* est placé au centre d'une demi-circonférence CC, située dans un plan horizontal et ayant 40 à 50 centimètres de rayon. L'œil observé O regarde fixement en face de lui le 0 de la division. On promène le long du cercle une bougie allumée, par dessus laquelle l'observateur regarde la cornée de l'œil observé. Le degré du cercle où il faut s'arrêter pour voir l'image de la bougie donnée par la cornée se dessiner au milieu de la pupille de l'œil observé, indique la valeur de l'angle α.

Pour comprendre ce phénomène, il faut supposer que la section de la ligne visuelle avec l'axe principal de la cornée coïncide exactement avec le centre de courbure de la demi-circonférence, et de plus, que la cornée est un miroir sphérique.

Reportons-nous à la figure 33, page 97, et admettons que OB soit la ligne visuelle, AO l'axe principal de la cornée, CD sera la section de la cornée et l'angle BOA sera l'angle α.

B représente dans cette figure le zéro de la graduation de l'instrument de M. Javal, A le point où s'est arrêtée la lumière pour produire son image A′, au milieu de la pupille. On comprend très bien que si les deux circonférences CD et celle dont AB ne représente ici qu'une corde, ont le même centre O, l'arc AB indiquera la valeur de l'angle α ou BOA de la figure 33.

Pour contrôler cette expérience, M. Javal indique une autre manière de procéder. L'observé est placé dans les mêmes conditions que précédemment. L'observateur met son œil au niveau du zéro de la graduation de l'instrument. Dans ces conditions, l'observateur et l'observé se regardent mutuellement. La bougie est déplacée et arrêtée lorsque l'observateur voit l'image de la flamme se peindre au milieu de la pupille de l'œil observé. Dans ce cas, le degré du cercle où la bougie a été arrêtée, donne le double de la valeur de l'angle α.

Il sera facile de saisir l'explication de cette expérience en se reportant à la figure 34, page 98, où la ligne OC représentera les axes visuels confondus de l'observateur et de l'observé, Cn l'axe de la cornée de l'œil observé, et L la position de la lumière, pour que son image O′ soit vue par l'observateur au milieu de la pupille de l'œil observé. L'angle LCO donné par l'instrument sera le double de l'angle nCO, qui est ici l'angle α.

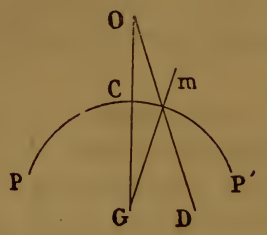
49. Détermination de l'angle du strabisme. — M. Landolt définit ainsi ce qu'il faut entendre par angle du strabisme. L'angle du strabisme est l'angle compris entre la direction que la ligne du regard de l'œil devrait avoir et celle qu'elle a en réalité.

Pour mesurer cet angle, M. Landolt étudie avec son périmètre l'image que la cornée donne de la flamme d'une bougie.

L'œil gauche, par exemple, étant atteint de strabisme

convergent, est placé au centre de courbure de l'arc du périmètre *(fig. 36)*. L'œil droit fixant un objet O, l'œil

Fig. 36.



G, œil gauche atteint de strabisme convergent et dont la ligne de regard est G*m* — D, l'œil droit. — PP, l'arc du périmètre gradué en degrés, le 0 étant au point C. — O, l'objet fixé.

gauche prend alors la direction G*m*. S'il n'était pas atteint de strabisme, il aurait la direction GO. D'après la définition, l'angle *m*G C est l'angle du strabisme qu'il s'agit de mesurer.

Pour mesurer cet angle, il faut déterminer le point *m*, vers lequel l'œil dévié est dirigé. La graduation du périmètre devant donner la valeur de l'angle *m*GC.

On promène la flamme d'une bougie le long de l'arc PP' à partir de C dans la direction C *m*. L'observateur place son œil de façon à ce qu'il soit toujours situé au-dessus de la flamme et dans un même plan vertical, et il s'arrête lorsqu'il aperçoit que l'image de la flamme occupe le milieu de la cornée. Le point *m*, où il a cessé de mouvoir la flamme de la bougie, donne alors la direction G*m* de l'œil dévié. Il n'y a plus qu'à lire sur le périmètre la valeur de l'angle C G *m*.

La valeur obtenue n'est pas mathématiquement exacte, car il faut tenir compte de l'angle α que nous avons appris à déterminer et qu'on peut dans bien des cas négliger, comme étant peu considérable.

La théorie de cet instrument est la même que celle que

nous avons exposée pour le premier cas de la méthode de M. Javal, dans le paragraphe précédent. Il est donc inutile de l'exposer de nouveau.

50. **Relation entre la grandeur de l'objet et celle de l'image.** — Pour connaître la relation qui existe entre la grandeur de l'objet et celle de son image, reportons-nous à la figure 33.

A B est l'objet et A'B', son image. Pour trouver la relation qui existe entre ces deux grandeurs, considérons les deux triangles O A B et OA'B' qui sont semblables, car A'B' est parallèle à A B. Nous avons

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$$

Mais $OA' = OD - A'D = 2f - p'$
et $OA = OD + DA = 2f + p$; nous avons

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{2f - p'}{2f + p}.$$

En remplaçant dans cette équation p', par sa valeur $\frac{pf}{p+f}$ tirée de l'équation donnée au paragraphe 46, nous avons, pour la relation entre l'objet et son image, la formule suivante :

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{f}{p+f}.$$

f étant toujours plus petit que $p + f$, il en résulte que l'image est toujours plus petite que l'objet. Cette image devient d'autant plus grande que p est plus petit.

Exemple. — Un miroir convexe a 20 centimètres de distance focale principale; une flamme ayant 2 centimètres de diamètre est placée à 30 centimètres du miroir, on demande quel est le diamètre de l'image de la flamme fournie par ce miroir.

D'après ces données et la formule ci-dessus, A B égale 2 centimètres, p 30 centimètres, et f 20 centimètres ; il s'agit de déterminer la valeur de A'B'. En substituant dans la formule les chiffres aux lettres, nous avons

$$\frac{A'B'}{2} = \frac{20}{30+20} = \frac{20}{50}.$$

D'où nous tirons pour la valeur de A'B', grandeur de l'image de la lampe fournie par le miroir, 8 millimètres.

51. **Relation entre la grandeur de l'image et le rayon de courbure.** — Deux miroirs convexes, placés dans les mêmes conditions, et donnant des images d'égale grandeur, ont des rayons de courbure égaux.

Soient deux miroirs convexes placés l'un à côté de l'autre et à une égale distance d'un objet quelconque ou d'un point lumineux, si les images virtuelles fournies par ces deux miroirs sont égales, les deux rayons de courbure sont égaux.

Pour le démontrer, désignons par l l'objet lumineux, par i l'image, par p la distance de l au miroir et par f et f' le demi-rayon de courbure de chacun des deux miroirs.

Pour le premier miroir, nous aurons, d'après la formule :

$$\frac{i}{l} = \frac{f}{p+f}, \qquad \text{d'où} \qquad f = \frac{pi}{l-i};$$

et pour le second :

$$\frac{i}{l} = \frac{f'}{p+f'}, \qquad \text{d'où} \qquad f' = \frac{pi}{l-i}.$$

f égale donc f', ce qu'il fallait démontrer.

52. **Expérience de Scheiner.** — Scheiner a utilisé cette relation entre la grandeur de l'image et le rayon de courbure pour calculer le rayon de courbure de la cornée.

Une personne était placée en face d'une croisée, et à côté de cette personne, Scheiner mettait une sphère en verre et se plaçait en face de la personne, entre elle et la croisée, de manière à pouvoir examiner l'image de la fenêtre soit sur la cornée de la personne, soit sur la sphère de verre. Scheiner se plaçait de façon à ce que son œil observateur fût à égale distance de l'œil observé et de la sphère de verre, et quand il obtenait deux images égales, il en concluait : 1° que la cornée était sphérique; 2° que la cornée avait le même rayon de courbure que celui de la sphère de verre qu'il employait.

Ce procédé ne suffit pas pour démontrer que la cornée est sphérique. En supposant que l'œil observateur fût placé à une distance mathématiquement égale de la cornée observée et de la sphère de verre, il faudrait aussi que la fenêtre fût à égale distance des miroirs observés. Et ensuite, à un simple coup d'œil à distance, il est difficile de bien apprécier si les deux images observées ont bien la même étendue. Le procédé de Scheiner ne suffit donc pas pour établir une démonstration à l'abri de toute critique.

Nous verrons plus loin qu'avec des moyens de mensuration très exacts et très rigoureux, on obtient des données d'un autre ordre.

53. **Lumière réfléchie par la face antérieure du cristallin.** — La face antérieure du cristallin est un miroir convexe qui, comme tous les miroirs de ce genre, réfléchit la lumière.

Ce phénomène est connu depuis longtemps, mais pour qu'il soit très appréciable, il faut que la pupille soit dilatée.

Deshais Gendron a signalé ce phénomène à propos de la mydriase. « Lorsqu'on examine l'œil avec attention, et sous différents points de vue, dit-il, on y aperçoit quelquefois un léger brouillard qui dépend de quelques rayons qui

sont réfléchis de l'intérieur de l'œil et qui s'échappent à travers de l'œil, à raison de sa trop grande dilatation. »

Demours en parle aussi lorsqu'il traite de la mydriase. « En examinant l'œil avec attention et sous différents points de vue, dit-il, on aperçoit quelquefois dans la pupille un léger brouillard ou nuage, mais ce nuage est plus uniforme, plus étendu et plus profond que celui qu'on remarque au cristallin quand il commence à se cataracter. Il disparaît même ou change de situation, selon les différents mouvements que l'observateur fait faire à l'œil du malade, ce qui prouve que ce brouillard apparent dépend uniquement de quelques rayons lumineux réfléchis de l'intérieur de l'œil, qui s'échappent au travers de la pupille à raison de sa trop grande dilatation. »

On trouve le même phénomène signalé dans la plupart des traités et attribué à la même cause, la réflexion de la lumière par la face antérieure du cristallin. Cette face réfléchit en effet la lumière, et c'est grâce à cette propriété que nous pouvons examiner cet organe par l'éclairage oblique.

Pour l'examen du cristallin, l'éclairage oblique n'est pas sans valeur, car il révèle les altérations sans modifier leur coloration, et il peut être employé quel que soit le degré de l'opacité. Si le cristallin est normal, l'éclairage direct ne fournit aucun symptôme, tandis que l'éclairage oblique nous permet de constater, surtout chez les personnes âgées, des lignes radiées, à contours peu accusés, lignes radiées qui indiquent les segments du cristallin.

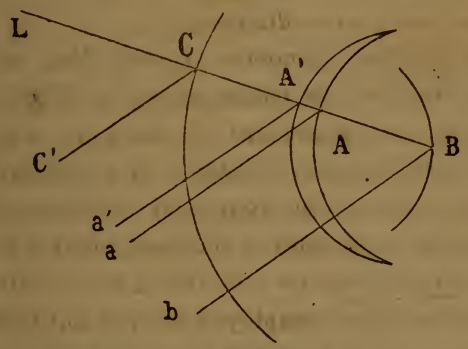
54. **Démonstration de l'accommodation par le changement de courbure de la face antérieure du cristallin.** — Toutes choses égales d'ailleurs, l'image change de position si le rayon de courbure du miroir convexe varie. L'image se rapproche du point lumineux si le rayon de courbure devient plus petit, et *vice-versâ*.

Cette différence dans la position des images sert à

démontrer que pendant les efforts d'accommodation, la face antérieure du cristallin devient plus convexe. La face antérieure de cet organe est ici considérée comme un miroir convexe dont la surface en se voussant devient un miroir à rayon plus court.

Plaçons une lumière devant l'œil, de manière à obtenir les images connues sous le nom d'images de Purkinje ou de Sanson. La cornée et la face antérieure du cristallin jouent le rôle de miroirs convexes et nous donnent des images virtuelles et droites; la face postérieure du cristallin, miroir concave, nous donne une image réelle et renversée.

Fig. 37.



C, cornée. — A, A', face antérieure du cristallin. — B, face postérieure. — L, lumière. — C', *a'*, *a*, *b*, rayons réfléchis.

Soient *(fig. 37)* L le point lumineux, C la section de la cornée, A la face antérieure du cristallin et B la face postérieure. L'œil observateur, placé devant les rayons réfléchis de *b* en C', verra l'image de la cornée dans la direction C'C, l'image de la face antérieure du cristallin dans la direction *a* A, celle de la face postérieure du cristallin dans la direction *b* B. Si la face antérieure du cristallin se vousse et se porte de A en A', l'observateur verra l'image se rapprocher de celle de la cornée, il ne la verra plus dans la direction *a*A, mais dans celle de *a'*A'.

Voici du reste ce qu'on observe pour la position de ces trois images.

Pour la vision des objets rapprochés, l'image du cristallin s'est rapprochée de celle de la cornée ; la face antérieure du cristallin s'est donc voussée. C'est la meilleure démonstration que le cristallin, par la modification de sa courbure, est l'agent principal de l'accommodation.

55. **Mesure de la longueur focale principale et du rayon de courbure.** — Pour mesurer la longueur focale d'un miroir convexe, les traités de physique indiquent un procédé qui n'est d'aucune application pratique en ophthalmologie. Nous le passerons donc sous silence, pour indiquer celui qui est le seul usité en ophthalmologie.

La cornée et la face antérieure du cristallin, considérées comme appartenant à des surfaces sphériques et, par suite comme constituant des miroirs convexes, donnent des images virtuelles, dont on peut mesurer le diamètre à l'aide des ophthalmomètres. La grandeur de ces images virtuelles étant connue, on peut calculer la distance focale principale et le rayon de courbure.

Nous avons vu que la relation entre la grandeur de l'objet et l'image était exprimée par la formule

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{f}{p+f}.$$

Ici A'B' est l'image fournie par la cornée ou par la face antérieure du cristalin, AB le diamètre de l'objet placé devant l'œil, p la distance de cet objet à l'œil.

De cette équation, pour avoir la distance focale principale f, nous tirons,

$$f = \frac{p.A'B'}{AB - A'B'}.$$

Comme $r = 2f$, nous avons pour la valeur de r, rayon de courbure du miroir,

$$r = \frac{2p, A'B'}{AB - A'B'}.$$

Exemple. — La flamme d'une lampe a 2 centimètres de diamètre. Elle est placée à 30 centimètres d'un miroir convexe. L'image a 8 millimètres de diamètre. On demande quel est le rayon de courbure de ce miroir?

D'après la formule ci-dessus nous avons, en convertissant toutes les valeurs en millimètres,

$$r = \frac{2.300.8}{20 - 8} = \frac{4800}{12} = 400 \text{ millimètres.}$$

Le rayon de courbure de ce miroir est donc de 40 centimètres, et sa distance focale principale, 20 centimètres.

56. **Calcul du rayon de courbure de la face antérieure du cristallin, considérée comme miroir convexe.** — Nous avons vu qu'en désignant par p la distance d'un objet à un miroir convexe, par f la moitié du rayon de courbure de ce miroir, par A'B' l'étendue de l'image et par AB la grandeur de l'objet, on avait, pour calculer le rapport entre l'image et l'objet.

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{f}{p + f}.$$

Mais si AB, A'B' et p sont connus, on peut calculer la valeur du rayon. Pour mesurer le rayon de courbure de la face antérieure du cristallin, plaçons un objet de grandeur connue devant l'œil et à une distance donnée, p; la cornée et la surface antérieure du cristallin, formant deux miroirs convexes, donneront de cet objet une image droite et virtuelle, dont nous pourrons mesurer la grandeur à l'aide de l'ophthalmomètre.

Désignons par $2f$ le rayon de courbure de la cornée, et par i l'image fournie par cet organe; désignons en outre par $2f'$ le rayon de courbure de la face antérieure du cristallin, et par i' l'image fournie par cette face.

Pour la cornée, nous aurons

$$\frac{i}{O} = \frac{\quad}{p+f}.$$

et pour le cristallin, à cause de la petite distance entre la cornée et le cristallin, ce qui nous permet de considérer la distance de l'objet au cristallin comme égale à celle de l'objet à la cornée,

$$\frac{i'}{O} = \frac{f'}{p+f'},$$

Ces deux équations, à cause de O commun, nous donnent,

$$\frac{i}{i'} = \frac{f(p+f')}{f'(p+f)}.$$

Comme la différence entre $p+f'$ et $p+f$ est très petite par rapport à p, on peut considérer ces deux quantités comme égales, et l'on a

$$\frac{i}{i'} = \frac{f}{f'}.$$

$2f$ étant le rayon de courbure de la cornée calculé auparavant, il reste pour la valeur de f',

$$f' = \frac{i'f}{i},$$

et en remplaçant $2f$ par sa valeur r pour la cornée et $2f'$ par r' pour le cristallin, on a

$$r' = \frac{i'r}{i}$$

pour le rayon de courbure de la face antérieure du cristallin.

57. **Ophthalmoscope de Zehender.** — L'ophthalmoscope de Zehender est formé d'un miroir métallique convexe percé d'un trou à son centre. Le miroir a un rayon de courbure d'environ 16 centimètres. Le trou a un diamètre très restreint, 3 à 4 millimètres. De chaque côté du miroir, il y a deux supports destinés à soutenir chacun une lentille, l'un une lentille convexe et l'autre une lentille concave. La lentille concave se place en arrière du miroir pour l'examen de l'image droite, et la lentille convexe est dirigée du côté de la source lumineuse. En faisant varier la distance de la lentille convexe au miroir, on modifie la distance focale du système éclairant.

Si la lentille convexe, dont le foyer principal est de 3 pouces ou 13 dioptries, est placée de façon à ce que l'image de la flamme se forme entre le miroir et son foyer principal, voici ce qui se passe. Un œil qui regarde le miroir convexe n'aperçoit que l'image circulaire de la lentille, ce qui donne l'aspect d'un disque brillant; l'image de la flamme ne peut être perçue. C'est ce cône de rayons lumineux qui est dirigé sur l'œil observé, et comme ce miroir est surtout utile pour l'image droite, l'observateur n'est pas gêné par l'image de la flamme, ce qui est très important dans ce genre d'examen.

Cet ophthalmoscope est peu répandu.

BIBLIOGRAPHIE

Demours, *Précis théorique et pratique sur les maladies des yeux*, p. 324. Paris, 1821.

Deshais Gendron, *Traité des maladies des yeux*, t. I, p. 184. Paris, 1770.

Javal, *Du strabisme*, in *Annales d'oculistique*, LXV, p. 114.

Landolt, *Sur la strabométrie*, in *Annales d'oculistique*, LXXIV, p. 63.

Scheiner, *Oculus, hoc est fondamentum opticum*, 1752.

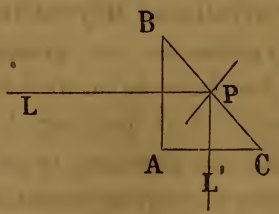
CHAPITRE VIII

MIROIRS PRISMATIQUES

58. **Définition.** — Les miroirs prismatiques sont des prismes dont la projection sur un plan est un triangle isocèle. Ainsi disposés, ces prismes ne réfractent pas la lumière; car ils sont disposés de façon à ce que leur angle soit supérieur à l'angle limite de la réfraction. Loin de réfracter la lumière, ils la réfléchissent en totalité et ils la réfléchissent de manière à ce que le rayon réfléchi est perpendiculaire au rayon incident.

59. **Réflexion par les prismes.** — Les miroirs prismatiques réfléchissent la lumière comme le ferait un miroir plan dont la surface ferait un angle de 45° avec le rayon incident. On peut donc, à la rigueur, remplacer un miroir prismatique par un miroir plan ayant cette inclinaison par rapport au rayon incident.

Fig. 38.



ABC, prisme isocèle et rectangulaire en A. — LP, rayon incident. PL', rayon réfléchi.

Soit *(fig. 38)* ABC, un miroir prismatique. La réflexion

de la lumière s'opèrera comme si ce miroir prismatique était remplacé par un miroir plan BC. En effet, le rayon incident tombant perpendiculairement sur la face AB, n'éprouve aucune déviation, car l'angle d'incidence qu'il fait avec la normale est égal à zéro. Il marche donc de L en P, en suivant une direction rectiligne. Au point P, ce rayon rencontre la face BC du miroir prismatique, où il fait avec la normale à ce point un angle de 45°. Il se réfléchit en prenant la direction PL', faisant avec la normale un angle de réflexion égale à l'angle d'incidence, c'est-à-dire un angle de 45°.

Puisque les angles d'incidence et de réflexion ont chacun 45°, les rayons LP et PL' font donc entre eux un angle de 90°, c'est-à-dire un angle droit. Il en résulte qu'ils sont perpendiculaires. Tout s'est donc passé comme si le rayon primitif avait été courbé à angle droit.

Les miroirs prismatiques ont été employés dans la construction de quelques ophthalmoscopes, soit comme moyen d'éclairer la cavité oculaire, soit comme moyen de dévier les rayons émanés de l'œil observé.

60. **Ophthalmoscopes prismatiques.** — Les ophthalmoscopes prismatiques sont peu répandus. Je n'en connais que cinq qui méritent ce nom. Ce sont ceux d'Ulrich, de Frœbelius, de Meyerstein, de Coccius, et de Zehender. Ulrich emploie deux miroirs prismatiques, les autres n'en emploient qu'un seul. Ulrich, Frœbelius et Meyerstein font réfléchir la lumière par l'hypothénuse du prisme; Coccius et Zehender, par une des faces adjacentes à l'angle droit. Frœbelius et Meyerstein font perforer le prisme pour éviter la réflexion totale par le prisme et permettre ainsi à l'observateur de recevoir les rayons venant de l'œil malade.

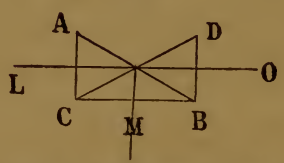
Pour obtenir une plus grande puissance d'éclairage, Zehender a fait donner aux côtés adjacents à l'angle droit une courbure concave ou convexe.

Ces ophthalmoscopes sont peu usités. En réalité, ils ne fonctionnent que comme des ophthalmoscopes à miroir plan, dont ils sont loin d'avoir les avantages et surtout la simplicité.

Nous ne décrirons que l'ophthalmoscope d'Ulrich. A cette description, nous ajouterons celle des ophthalmoscopes de de Wecker, Sichel et Monoyer; mais, dans ces derniers, les prismes sont employés, non pas pour éclairer la cavité oculaire, mais pour dévier les rayons lumineux et multiplier les images rétiniennes.

61. **Ophthalmoscope d'Ulrich.** — Cet ophthalmoscope *(fig. 39)* se compose de deux miroirs prismatiques. La

Fig. 39.



L, lumière. — O, œil de l'observateur. — M, œil de l'observé. ABCD, miroirs prismatiques.

réflexion de la lumière se fait sur l'hypothénuse. Voici comment est disposé cet instrument. Les rayons lumineux émanés de la source lumineuse L, sont réfléchis à angle droit par la face AB du prisme dans l'œil du malade M. Les rayons provenant de cet œil observé M, sont en partie réfléchis par la face AB, vers la source lumineuse, et en partie par la face CD, vers l'œil de l'observateur O qui perçoit l'image de la cavité de l'œil observé.

Les prismes sont contenus dans un tube qui est supporté par un pied. A chaque extrémité du tube sont placées des lentilles convexes. La première, dirigée vers la lampe, a pour but de faire converger les rayons lumineux sur le premier prisme AB. La seconde, servant d'oculaire, permet à l'observateur de percevoir l'image du fond de l'œil.

On voit par cette disposition que l'observateur est placé en face de la lumière, tandis que le malade est par côté. Cet ophthalmoscope, peu usité, fournit peu de lumière à l'œil de l'observateur, car une partie des rayons lumineux émanés de l'œil observé est réfléchie vers la source lumineuse.

62. **Objectif à prismes pour l'usage d'un ophthalmoscope démonstratif de MM. de Wecker et Roger.** — Pour donner à deux observateurs à la fois une image suffisante, MM. de Wecker et Roger ont présenté à l'Académie des Sciences un objectif à prismes. Pour doubler l'image du fond de l'œil, ils ont utilisé la réflexion totale des prismes.

Cet objectif se compose d'une lentille plane convexe, et de deux prismes rectangulaires adossés l'un à l'autre par leurs hypothénuses. Les angles de ces prismes sont de 42° et 48°

« On peut, disent ces auteurs, se servir de cet objectif de trois manières différentes : 1° Un premier observateur éclaire le fond de l'œil de la façon habituelle, en envoyant avec le miroir la lumière à travers l'objectif. Il voit, lui, par le trou du miroir; le second observateur, placé latéralement, regarde sur la face hypothénuse des prismes. 2° Le premier observateur se place avec son miroir latéralement de façon à envoyer la lumière sur les hypothénuses. Il éclaire ainsi le fond de l'œil qu'il voit par le trou de son miroir. Le second observateur se place en face du malade et regarde à travers l'objectif. 3° Les deux observateurs éclairent ensemble le fond de l'œil, munis chacun d'un miroir, réalisant ainsi simultanément les deux premiers procédés. Ils regardent par le trou du miroir et bénéficient ainsi d'un double éclairage. »

L'idée de M. de Wecker a bientôt porté ses fruits. Les perfectionnements n'ont pas tardé à suivre. L'objectif à prismes de M. de Wecker constitue un progrès immense.

MM. Sichel et Monoyer ont suivi de près M. de Wecker pour imaginer des ophthalmoscopes destinés à permettre l'examen de la cavité oculaire par plusieurs observateurs à la fois.

63. **Ophthalmoscope à deux observateurs de Sichel.** — Quand A. Sichel a fait connaître la disposition de cet ophthalmoscope, il a dit : « En ajoutant à la première caisse une seconde caisse qui en serait écartée de quelques millimètres, il serait possible de disposer l'appareil pour trois observateurs. L'observateur principal regarderait par le trou du miroir, entre les deux caisses, pendant que chaque observateur secondaire examinerait l'œil du malade par l'oculaire de l'une des caisses. »

M. Monoyer a fait exécuter ce projet. Une seule exposition nous permettra de donner la description de ces deux ophthalmoscopes, dont l'idée première revient à M. Sichel. En décrivant dans le paragraphe suivant l'ophthalmoscope de M. Monoyer, nous aurons décrit celui de M. Sichel.

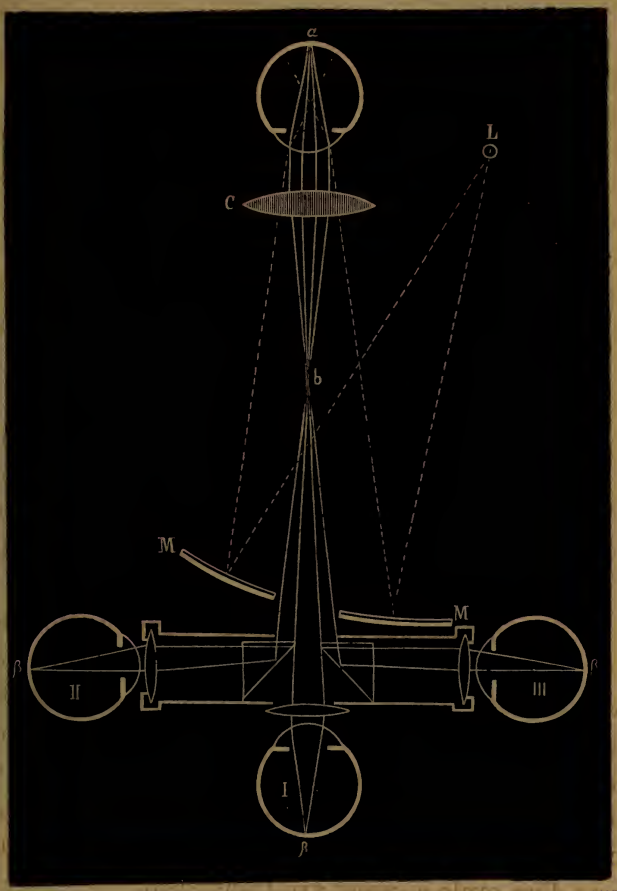
64. **Ophthalmoscope à trois observateurs de Monoyer.** — Cet ophthalmoscope se compose d'un miroir concave MM *(fig. 40)*, ayant 35 centimètres de distance focale, derrière lequel se trouve une caisse métallique. Le miroir peut se mouvoir en différents sens. La caisse est percée de part en part d'un orifice d'environ un centimètre, dont l'axe coïncide exactement avec le trou du miroir qui a la forme d'un ovale à grand axe transversal.

Dans l'ophthalmoscope de Sichel, la caisse ne contient qu'un prisme dont la surface hypothénusienne fait un angle de 45° avec l'axe de la caisse. Dans l'ophthalmoscope de Monoyer, il y a deux prismes placés dans les mêmes conditions.

Le plan correspondant à l'un des côtés de l'angle droit du prisme avance dans le champ du trou du miroir,

de façon à en occuper les deux tiers et à laisser libre le tiers restant. M. Monoyer ne fait avancer chacun des

Fig. 40.



Ophthalmoscope à trois observateurs de Monoyer.

prismes que d'une quantité telle que chaque prisme n'occupe que le tiers du champ du trou du miroir.

Un coup d'œil jeté sur la figure indique la marche des rayons, et la manière dont les trois observateurs I, II et III, perçoivent l'image rétinienne de l'œil observé. Les rayons

émanés de cet œil se partagent en trois faisceaux. Le faisceau central, passant entre les deux prismes, se dirige vers l'œil de l'observateur I; les faisceaux latéraux, rencontrant l'hypothénuse de chaque prisme, sont réfléchis à angle droit vers les observateurs II et III. Ainsi se trouve réalisée la facilité de pouvoir permettre à trois observateurs d'explorer à la fois la cavité oculaire d'un malade.

BIBLIOGRAPHIE

Frœbelius, *Med. Zeitschr. Russlands.* 1852.

Meyerstein, *Beschreibung eines neuen Augenspiegels,* 1853.

Monoyer, *Ophthalmoscope à trois observateurs. (Annales d'oculistique,* t. LXXIII, p. 193, 1875.)

Sichel, *Note sur un ophthalmoscope à deux observateurs, pour les démonstrations. (Annales d'oculistique,* t. LXVII, p. 57, 1872.)

Ulrich, *Beschreibung eines neuen Augenspiegels,* 1853.

De Wecker et Roger, *Objectif à prismes pour l'usage d'un ophthalmoscope démonstratif. (Annales d'oculistique,* t. LXIII, p. 286, 1870.)

CHAPITRE IX

MIROIRS ELLIPTIQUES

65. **Définition.** — La surface d'un miroir elliptique est un ellipsoïde. Comme l'ellipse a deux foyers situés sur son grand axe, les miroirs elliptiques jouissent de la propriété suivante : les rayons lumineux émanés d'une source placée à l'un des foyers, vont, après réflexion sur le miroir, se réunir à l'autre foyer.

Ces miroirs, d'une construction difficile, sont peu usités et ils ne le sont pas du tout en ophthalmologie. Si nous avons à nous en occuper, c'est que la cornée étant un ellipsoïde de révolution, il nous faut considérer cet organe comme un miroir elliptique. C'est pour cette raison que nous avons consacré un chapitre à ce genre de miroir.

L'excentricité de l'ellipse est le rapport de la distance des foyers au grand axe. C'est le rapport $\frac{c}{a}$, c étant la demi-distance focale et a la moitié du grand axe de l'ellipse.

66. **Courbure de la face antérieure de la cornée.** — La face antérieure ou externe de la cornée est en grande partie en contact avec l'air extérieur quand les paupières sont écartées, et avec la muqueuse palpébrale quand elles sont rapprochées. Cette face est convexe et polie. Cette convexité a toujours été attribuée à la révolution d'une courbe, mais les opinions divergent quand il faut spécifier la nature de cette génératrice. Toutes les sections coniques,

cercle, ellipse, parabole et hyperbole ont été mentionnées.

La cornée est-elle engendrée par la révolution d'un cercle, et, par suite, constitue-t-elle un segment de sphère?

La forme sphérique de la cornée est la plus ancienne des opinions émises. Pendant des siècles, elle a été généralement admise, aussi la trouve-t-on signalée dans presque tous les traités qui se sont occupés de l'anatomie de l'œil.

Le plus ancien des auteurs que j'ai trouvé ayant signalé la forme sphérique de la cornée, est Alhazen, qui vivait au XIIe siècle. La surface de la cornée, dit-il, est sphérique.

Au XVIIe siècle nous trouvons Aguilon et Képler qui, tous deux, déclarent que la cornée représente le segment d'une petite sphère ajouté au segment d'une sphère plus grande.

Ce sont les opinions de ces trois auteurs qui, pendant fort longtemps, seront généralement acceptées.

Pour démontrer que la cornée est un segment de sphère, Scheiner, Petit et M. Sappey ont donné des démonstrations.

Nous avons vu (52) comment procédait Scheiner.

Petit faisait congeler des yeux, les plaçait sur une cupule et ensuite procédait ainsi : « J'ai fait faire de petites plaques de cuivre, j'ai fait tailler à leurs extrémités des arcs de cercle de différents diamètres. Je pose ces arcs de cercle sur la cornée, celui qui paraît la toucher dans tous ses points marque la convexité de la cornée. J'ai connu par ce moyen que la cornée des yeux d'hommes fait une portion de sphère qui a sept lignes et demie de diamètre. »

Le procédé de Petit n'a rien de précis, c'est un à peu près. L'arc du cercle de cuivre qui *paraît* s'adapter le mieux à la courbe de la cornée lui suffit pour base de sa démonstration. Enfin, en congelant les yeux, Petit déformait les courbes de l'œil, de sorte que les résultats qu'il devait obtenir étaient à l'avance frappés de nullité. « Je crois inutile, dit Chossat, d'insister sur l'imperfection de ce procédé. »

M. Sappey s'exprime en ces termes sur la manière dont il a procédé : « J'ai pris le moule de la cornée en versant entre les paupières de la cire fondue, puis j'ai divisé ce moule transversalement, et après avoir appliqué le plan de cette coupe sur une feuille de papier, j'ai dessiné la courbure avec la pointe d'un crayon. Réunissant ensuite les deux extrémités de cet arc par une ligne droite qui en représentait la corde, et élevant sur la partie moyenne de cette corde une perpendiculaire qui représentait l'un des diamètres infiniment prolongés, j'ai cherché par voie de tâtonnement le cercle dont la courbe obtenue faisait partie. Le diamètre de ce cercle a varié dans les différentes mesures que j'ai prises, de 13 millimètres et demi à 14,5. Sa longueur moyenne est donc de 14 millimètres, ce qui donne pour le rayon de courbure de la face antérieure de la cornée 7 millimètres. Je dois ajouter toutefois que ce rayon de courbure est surtout celui de la partie centrale de cette face. » Et M. Sappey termine par ces mots : « Je pense donc que l'opinion des anciens est la plus exacte; la cornée est un segment de sphère. »

Le moyen employé par M. Sappey ne lève pas tous les doutes. Au lieu de procéder, comme il dit, par voie de tâtonnement, pour obtenir le centre du cercle qu'il avait obtenu, il pouvait avoir directement ce résultat, en songeant à ce théorème de géométrie que, par trois points non en ligne droite, on peut toujours faire passer une circonférence. M. Sappey reconnaît que la courbe qu'il a obtenue n'appartient pas au même rayon d'une même circonférence, dès lors il faut en conclure que la section qu'il a obtenue n'était pas celle d'un cercle. La courbe de la cornée n'appartient donc pas à ce genre de section conique.

Pour nous résumer, nous dirons qu'il n'existe aucune démonstration mathématique que la surface antérieure de la cornée soit engendrée par la révolution d'un cercle.

Petit et M. Sappey reconnaissent que les bords de la cornée n'ont pas le même rayon de courbure que le centre; or, une surface dont tous les points ne sont pas équidistants d'un même point, ne saurait être la surface d'une sphère.

En 1810, Gerson signala la forme hyperbolique. Chossat prétendit que chez l'éléphant la cornée était hyperbolique. Demours admit qu'il en était de même chez l'homme : « On dit ordinairement que la cornée est un segment de sphère, mais si on examine un œil de côté, on remarquera qu'elle est un peu aplatie latéralement. La cornée est un segment, non d'une sphère, mais d'un sphéroïde, tel que la section perpendiculaire à la corde du segment serait une ligne hyperbolique. Cette forme hyperbolique de la cornée lui procure sans doute des avantages qu'elle n'aurait pas si elle était simplement un segment de sphère. Elle sert vraisemblablement à faire parvenir, sur l'organe immédiat de la vue, les rayons de lumière qui tombent très obliquement sur la cornée, ou à y réunir plus exactement ceux de ces rayons qui ont différents rayons de réfrangibilité. En effet, Newton a démontré que la forme hyperbolique était la plus propre pour réunir en un seul point tous les rayons qui réunissent une réfrangibilité différente. D'après cet illustre physicien, si l'on pouvait parvenir à donner à un verre une forme parfaitement hyperbolique, ce qui est impossible, ce verre pourrait réunir en un seul point les différentes espèces de rayons de lumière, ce que ne font point les verres sphériques convexes. Ce qui rend certain que la forme hyperbolique de la cornée a quelque utilité, c'est que rien n'a été fait au hasard, et l'auteur de la nature a donné à toutes les parties des corps organisés la forme la plus convenable pour s'acquitter des fonctions auxquelles il les a destinées. »

L'opinion de Demours n'a pas trouvé de partisans. Ces lignes que je viens de transcrire démontrent que leur

auteur était guidé par des vues théoriques plutôt que par des mensurations sérieuses. Les avantages que Demours attribuait à la forme hyperbolique étaient déjà controversés quand il écrivit son traité. En effet, en 1797, Brisson, en parlant des lentilles, disait : « La courbure parabolique ou hyperbolique serait plus propre à réunir les rayons; mais elle serait trop difficile à obtenir; encore avec elle ne réussirait-on pas, puisque tous les rayons de lumière ne sont pas également réfrangibles. »

En 1810, Gerson déclara que la cornée n'était pas sphérique, il pensait qu'elle pouvait être elliptique. Cependant, il ne s'arrêta pas à cette idée et crut trouver dans la cornée les éléments d'une courbe du quatrième degré. Gerson avait procédé comme Petit, en employant des disques de cuivre de différents rayons.

En 1819, Chossat signala que la cornée de bœuf était ellipsoïde. « Ayant fixé un mégascope au volet d'une chambre obscure, je plaçai, dit-il, au dehors de celle-ci, au devant de l'objectif, les parties que je voulais dessiner, j'en recevais l'image sur une glace dépolie et je suivais avec un crayon les contours de cette image, en m'appliquant à rendre aussi délié que possible le trait de dessin que je traçais. Sur ce dessin, j'en calquais un autre sur lequel j'exécutais les opérations graphiques propres à déterminer la nature de la courbe obtenue... Pour prendre le dessin de la cornée, je place l'œil entier de l'animal dans un petit godet qui embrasse une assez grande partie de sa surface postérieure. Je place ce godet au fond d'une cuve pleine d'eau dont les parois sont des glaces parallèles et je dispose le tout au devant du mégascope. L'eau, dans cette expérience, en privant l'œil d'une partie de son poids est destinée à prévenir toute l'influence déformatrice que ce poids pourrait avoir; mais aussi, pour que la pression de cette eau ne devienne point elle-même une cause de déformation, il faut, comme dans l'état de vie, que l'œil

soit assez gonflé pour résister à tout affaissement, et comme cette condition ne se trouve observée que tant qu'il est encore très frais, j'ai toujours eu la précaution de choisir pour mes expériences les yeux d'animaux tués depuis deux ou trois heures seulement. » Après avoir indiqué les calculs auxquels il s'est livré, Chossat conclut : « La cornée du bœuf est un segment d'ellipsoïde. Cet ellipsoïde est de révolution autour du grand axe de l'ellipse qui représente la section horizontale de la cornée. »

J'aurais dû passer sous silence l'opinion de Chossat, puisque ses expériences et ses conclusions n'ont trait qu'à l'œil de bœuf. Si je l'ai reproduite, c'est que divers traités modernes de physiologie en parlent, celui de M. Longet, par exemple. Seulement ces traités en parlent, comme s'il s'agissait de l'œil de l'homme.

En 1845, Sturm fit connaître sa théorie sur l'accommodation basée sur les surfaces gauches des milieux réfringents, et la même année, Forbes renouvela en partie l'opinion de Chossat. « Pendant que la surface de la cornée est engendrée par la révolution d'une ellipse autour de son grand axe, parallèle aux rayons incidents et par conséquent aplanétique pour les rayons parallèles, les surfaces du cristallin sont produites par la révolution d'une ellipse sur son petit axe. »

L'année suivante, en 1846, Senff, en mesurant sur le vivant les rayons de courbure, à l'aide des diamètres de l'image fournie par la cornée, remarqua que le diamètre des images n'est pas le même suivant qu'on les examine dans le plan vertical ou dans le plan horizontal, et la différence de longueur des rayons calculés le conduisit à admettre que la cornée était elliptique.

En suivant ce même procédé, mais en employant son ophthalmomètre, instrument qui conduisait à une grande précision, Helmholtz démontra que la courbe de la cornée était engendrée par une ellipse à deux axes inégaux.

Knapp répéta les expériences d'Helmholtz et pratiqua plusieurs mensurations à l'aide de l'ophthalmomètre. « De ces mesures, dit-il, j'ai pu déduire que la surface extérieure de la cornée n'est pas un segment de sphère, comme on l'admettait auparavant, ni un ellipsoïde de révolution comme l'avait supposé M. Helmholtz, qui n'avait pris ses mesures que dans le méridien horizontal, mais qu'elle doit être regardée comme la calotte d'un ellipsoïde à trois axes. »

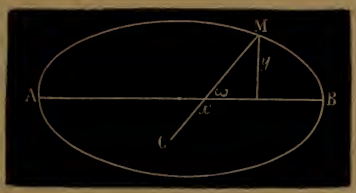
Depuis les travaux de Knapp, l'opinion générale est que la cornée est un ellipsoïde à trois axes. Hugo Gérold, Stellwag von Carion, Donders, etc., ont accepté cette opinion qui repose sur des mensurations sérieuses et qui est confirmée par la physiologie et par la pathologie.

67. **Rayon de courbure de l'ellipse.** — Sturm indique la formule suivante pour le calcul du rayon de courbure de l'ellipse :

$$\rho = \frac{(b^4x^2 + a^4y^2)^{\frac{3}{2}}}{a^4b^4}. \qquad (1)$$

Ainsi présentée, cette formule ne serait d'aucun secours pour le calcul du rayon de courbure de la cornée. Il faut donc la transformer.

Fig. 41.



MC, rayon de courbure au point M. — x, y, coordonnées du point M. — ω, angle formé par le rayon de courbure MC avec le grand axe de l'ellipse AB.

Nous avons *(fig. 41)*

$$\frac{a^2y}{b^2x} = \text{tang } \omega;$$

d'où nous tirons

$$(2) \qquad y = \frac{b^2 x \operatorname{tang} \omega}{a^2}.$$

Si dans l'équation de l'ellipse qui est

$$a^2 y^2 + b^2 x^2 = a^2 b^2,$$

nous remplaçons y^2 par sa valeur donnée par l'équation (2), il vient :

$$a^2 \frac{b^4 x^2 \operatorname{tang}^2 \omega}{a^4} + b^2 x^2 = a^2 b^2.$$

En multipliant le tout par a^4 et en divisant par b^2, nous avons,

$$b^2 x^2 \operatorname{tang}^2 \omega + a^2 x^2 = a^4.$$

d'où nous tirons la valeur de x^2

$$(3) \qquad x^2 = \frac{a^4}{a^2 + b^2 \operatorname{tang}^2 \omega}.$$

Si nous élevons au carré l'équation (2) et qu'après cette élévation, nous remplacions x^2 par sa valeur (3), nous aurons

$$(4) \qquad y^2 = \frac{b^4 \operatorname{tang}^2 \omega . a^4}{a^4 (a^2 + b^2 \operatorname{tang}^2 \omega)} = \frac{b^4 \operatorname{tang}^2 \omega}{a^2 + b^2 \operatorname{tang}^2 \omega}.$$

Si dans l'expression $b^4 x^2 + a^4 y^2$ (1) nous remplaçons x^2 et y^2 par leurs valeurs données par les équations (3) et (4), nous aurons,

$$b^4 x^2 + a^4 y^2 = \frac{a^4 b^4}{a^2 + b^2 \operatorname{tang}^2 \omega} + \frac{a^4 b^4 \operatorname{tang}^2 \omega}{a^2 + b^2 \operatorname{tang}^2 \omega},$$

et à cause du dénominateur commun,

$$= \frac{a^4 b^4 (1 + \operatorname{tang}^2 \omega)}{a^2 + b^2 \operatorname{tang}^2 \omega}.$$

Remplaçant $\text{tang}^2\omega$, par $\frac{\sin^2\omega}{\cos^2\omega}$, il vient :

$$b^4x^2 + a^4y^2 = \frac{a^4b^4\left(1 + \frac{\sin^2\omega}{\cos^2\omega}\right)}{a^2 + \frac{b^2\sin^2\omega}{\cos^2\omega}} = \frac{a^4b^4(\cos^2\omega + \sin^2\omega)}{a^2\cos^2\omega + b^2\sin^2\omega}.$$

Mais $\cos^2\omega + \sin^2\omega$ étant égal à 1, $\cos^2\omega = 1 - \sin^2\omega$, nous avons

$$b^4x^2 + a^4y^2 = \frac{a^4b^4}{a^2(1 - \sin^2\omega) + b^2\sin^2\omega} = \frac{a^4b^4}{a^2 - (a^2 - b^2)\sin^2\omega};$$

et en élevant le tout au cube,

$$(b^4x^2 + a^4y^2)^3 = \frac{a^{12}b^{12}}{[a^2 - (a^2 - b^2)\sin^2\omega]^3}.$$

Extrayant la racine carrée,

$$(5) \qquad \sqrt{(b^4x^2 + a^4y^2)^3} = \frac{a^6b^6}{\sqrt{[a^2 - (a^2 - b^2)\sin^2\omega]^3}}.$$

Si nous remplaçons le premier terme de cette équation (5) par sa valeur tirée de l'équation (1), nous aurons

$$(6) \quad \rho = \frac{a^6b^6}{\sqrt{[a^2 - (a^2 - b^2)\sin^2\omega]^3 . a^4b^4}} = \frac{a^2b^2}{\sqrt{[a^2 - (a^2 - b^2)\sin^2\omega]^3}}.$$

Par définition, nous avons pour l'excentricité de l'ellipse,

$$(7) \quad \varepsilon^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}; \text{ donc } a^2 - b^2 = a^2\varepsilon^2, \text{ et } b^2 = a^2(1 - \varepsilon^2).$$

En remplaçant dans l'équation (6) b^2 par sa valeur donnée par l'équation (7), il vient :

$$\rho = \frac{a^2 . a^2(1 - \varepsilon^2)}{\sqrt{(a^2 - a^2\varepsilon^2\sin^2\omega)^3}} = \frac{a^4(1 - \varepsilon^2)}{\sqrt{a^6(1 - \varepsilon^2\sin^2\omega)^3}}$$

$$= \frac{a^4(1 - \varepsilon^2)}{a^3\sqrt{(1 - \varepsilon^2\sin^2\omega)^3}},$$

et en divisant par a', nous obtenons pour formule définitive

$$\rho = \frac{a\,(1 - \varepsilon^2)}{\sqrt{(1 - \varepsilon^2 \sin^2 \omega)^3}}.$$

Cette formule est celle qui a été employée par Knapp pour la mensuration du rayon de courbure de la cornée, mais comme il n'a pas indiqué la manière dont il l'avait obtenue, nous avons cru devoir la déduire de la formule classique indiquée dans Sturm.

68. **Rayon de courbure de la cornée.** — Pour mesurer la courbure de la face antérieure de la cornée, on mesure le rayon de courbure à différents points de cette surface, à l'aide de l'ophthalmomètre et suivant les formules indiquées (50) et (55). Si la cornée était engendrée par la révolution d'un cercle, toutes les valeurs obtenues seraient égales, parce que tous les rayons d'une sphère sont égaux. Il n'en est pas ainsi. De plus, si l'on mesure deux rayons à égale distance de l'axe visuel, les rayons sont aussi inégaux, ce qui prouve que le grand axe de l'ellipse de la cornée ne coïncide pas avec l'axe visuel.

La démonstration suivante se trouve dans l'ouvrage de Knapp et dans le *Handbuch der gesammten Augenheilkunde,* où elle a été aussi publiée par le professeur Aubert.

On fait diriger l'œil de façon à ce que l'axe visuel coïncide avec l'axe de l'ophthalmomètre, soit ρ_0 le rayon de la cornée obtenu pour cette position. On fait viser ensuite deux points situés à droite et à gauche, de façon à ce que la ligne visuelle fasse avec l'axe de l'ophthalmomètre deux angles égaux φ. Soient ρ_1 et ρ_2 les valeurs obtenues pour ces deux rayons. Pour le rayon ρ_1, l'angle φ sera positif, il sera négatif pour le rayon ρ_2.

D'après l'équation que nous avons donnée au paragraphe

précédent, nous aurons, pour chacun de ces trois rayons, les équations suivantes, en désignant l'angle ω par α :

$$(1) \qquad \rho_0 = \frac{a(1-\varepsilon^2)}{\sqrt{(1-\varepsilon^2.\sin^2\alpha)^3}},$$

$$(2) \qquad \rho_1 = \frac{a(1-\varepsilon^2)}{\sqrt{[1-\varepsilon^2\sin^2(\alpha+\varphi)]^3}},$$

$$(3) \qquad \rho_2 = \frac{a(1-\varepsilon^2)}{\sqrt{[1-\varepsilon^2\sin^2(\alpha-\varphi)]^3}},$$

Élevant les équations (1) et (2) au carré et extrayant la racine cubique, il vient :

$$\rho_0^{\frac{2}{3}} = \frac{a^{\frac{2}{3}}(1-\varepsilon^2)^{\frac{2}{3}}}{1-\varepsilon^2\sin^2\alpha},$$

$$\rho_1^{\frac{2}{3}} = \frac{a^{\frac{2}{3}}(1-\varepsilon^2)^{\frac{2}{3}}}{1-\varepsilon^2\sin^2(\alpha+\varphi)}.$$

Ces deux équations, ayant le numérateur du second terme égal, donnent :

$$\rho_0^{\frac{2}{3}} - \rho_0^{\frac{2}{3}}.\varepsilon^2.\sin^2\alpha = \rho_1^{\frac{2}{3}} - \rho_1^{\frac{2}{3}}.\varepsilon^2.\sin^2(\alpha+\varphi),$$

d'où nous tirons pour la valeur de ε^2,

$$(4) \qquad \varepsilon^2 = \frac{\rho_0^{\frac{2}{3}} - \rho_1^{\frac{2}{3}}}{\rho_0^{\frac{2}{3}}.\sin^2\alpha - \rho_1^{\frac{2}{3}}.\sin^2(\alpha+\varphi)}.$$

En agissant, comme nous venons de le faire, sur les équations (1) et (3), on tire pour la valeur de ε^2 :

$$(5) \qquad \varepsilon^2 = \frac{\rho_0^{\frac{2}{3}} - \rho_2^{\frac{2}{3}}}{\rho_0^{\frac{2}{3}}.\sin^2\alpha - \rho_2^{\frac{2}{3}}.\sin^2(\alpha-\varphi)}.$$

Des deux équations (4) et (5), il est facile de tirer la valeur de l'angle α.

Pour abréger, désignons

$$(\rho_0 \rho_1)^{\frac{2}{3}} \text{ par A},$$

$$(\rho_0 \rho_2)^{\frac{2}{3}} \text{ par B},$$

$$(\rho_1 \rho_2)^{\frac{2}{3}} \text{ par C}.$$

Si nous égalons les seconds termes des équations (4) et (5) et que nous éliminions les dénominateurs, nous aurons, en tenant compte des abréviations ci-dessus,

$$\begin{aligned} B.\sin^2\alpha - A.\sin^2\alpha = {} & B.\sin^2(\alpha - \varphi) + C.\sin^2(\alpha + \varphi) \\ & - C.\sin^2(\alpha - \varphi) - A.\sin^2(\alpha + \varphi), \end{aligned}$$

équation qui peut être mise sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} (6) \qquad C[\sin^2(\alpha + \varphi) - \sin^2(\alpha - \varphi)] = {} & B[\sin^2\alpha - \sin^2(\alpha - \varphi)] \\ & + A[\sin^2(\alpha + \varphi) - \sin^2\alpha]. \end{aligned}$$

Comme la différence du carré de deux sinus est égale au produit du sinus de la somme des deux angles par le sinus de leur différence, nous avons, dans l'équation (6),

$$\begin{aligned} & \operatorname{Sin}^2(\alpha + \varphi) - \sin^2(\alpha - \varphi) \\ & \quad = \sin[(\alpha + \varphi) + (\alpha - \varphi)].\sin[(\alpha + \varphi) - (\alpha - \varphi)] \\ & \quad = \sin 2\alpha.\sin 2\varphi. \end{aligned}$$

L'équation (6) devient donc

$$(7) \quad C \sin 2\alpha.\sin 2\varphi = B.\sin(2\alpha - \varphi.)\sin\varphi + A.\sin(2\alpha + \varphi)\sin\varphi;$$

Mais sin 2φ étant égal à $2\sin\varphi\cos\varphi$, si nous transportons cette valeur dans l'équation (7) et que nous divisions le tout par sin φ, il viendra,

$$(8) \quad 2C.\sin 2\alpha.\cos\varphi = B.\sin(2\alpha - \varphi) + A\sin(2\alpha + \varphi),$$

Comme sin $(\alpha + \varphi)$ est égal à sin α cos φ + cos α sin φ,

nous avons, en transportant cette valeur dans l'équation (8) et en divisant le tout par $\cos 2\alpha . \cos\varphi$:

$$2C \frac{\sin 2\alpha . \cos\varphi}{\cos 2\alpha . \cos\varphi}$$

$$= \frac{B(\sin 2\alpha . \cos\varphi - \cos 2\alpha . \sin\varphi) + A(\sin 2\alpha \cos\varphi + \cos 2\alpha \sin\varphi)}{\cos 2\alpha . \cos\varphi}.$$

En effectuant la division, il vient :

$$2C . \operatorname{tang} 2\alpha = B \operatorname{tang} 2\alpha - B \operatorname{tang}\varphi + A \operatorname{tang} 2\alpha + A \operatorname{tang}\varphi$$
$$= (A + B) \operatorname{tang} 2\alpha + (A - B) \operatorname{tang}\varphi.$$

D'où nous tirons pour la valeur de l'angle α,

$$\operatorname{Tang} 2\alpha = \frac{\operatorname{tang}\varphi (B - A)}{A + B - 2C}.$$

En remplaçant les lettres A, B, C, par leurs valeurs, nous aurons :

$$(9) \qquad \operatorname{Tang} 2\alpha = \frac{\operatorname{tang}\varphi [(\rho_0\rho_2)^{\frac{2}{3}} - (\rho_0\rho_1)^{\frac{2}{3}}]}{(\rho_0\rho_1)^{\frac{2}{3}} + (\rho_0\rho_2)^{\frac{2}{3}} - 2(\rho_1\rho_2)^{\frac{2}{3}}}.$$

Si l'on suppose que l'angle φ soit de 21°51′, et qu'on ait obtenu les valeurs suivantes pour les rayons, $\rho_0 = 7{,}8016$, $\rho_1 = 8{,}4715$, $\rho_2 = 8{,}0136$, en transportant ces valeurs dans l'équation (9), on aura pour la valeur de l'angle α, 5°41′.

La valeur de l'angle α obtenue, si on la transporte dans l'équation (5), on aura pour la valeur de ε^2, 0,26148. Enfin, si l'on transporte cette valeur de l'excentricité dans l'une des équations (1)(2)(3), on a pour la valeur de a, moitié du grand axe de l'ellipse, 10,523.

69. **Images de Purkinje ou de Sanson.** — Nous avons hésité un instant pour savoir où nous placerions la description de ces images qui sont fournies par la cornée et par

les deux faces du cristallin. La cornée est un miroir ellipsoïde, la face antérieure du cristallin un miroir convexe et la face postérieure un miroir concave. Ces images étant fournies par des surfaces de nature différente, il était impossible d'en placer la description dans un chapitre qui se rapportât à des courbures de nature diverse. Nous avons choisi le chapitre des miroirs ellipsoïdes, parce que maintenant nos lecteurs connaissent les principales variétés des miroirs.

Les images de Purkinje ou de Sanson sont au nombre de trois : l'une droite et virtuelle, fournie par la cornée (miroir ellipsoïde convexe); l'autre réelle et renversée, fournie par la face postérieure du cristallin (miroir sphérique concave), et la troisième virtuelle et droite, fournie par la face antérieure du cristallin (miroir sphérique convexe).

Ces images sont d'inégale grandeur et elles ne sont pas également perceptibles.

Elles sont d'inégale grandeur parce qu'elles sont fournies par des miroirs qui n'ont pas le même rayon de courbure, et nous avons vu que, toutes choses égales d'ailleurs, la grandeur d'une image dépendait de la longueur du rayon de courbure. Le rayon de courbure de la face antérieure du cristallin étant plus grand que celui de la face postérieure, l'image fournie par la face antérieure est plus grande. Elle est même plus grande que celle de la cornée, car elle est amplifiée par l'humeur aqueuse, qui joue le rôle de loupe.

Elles ne sont pas également perceptibles. Celle de la cornée est très nette, très visible et toujours trop appréciable. Celle qui est fournie par la face antérieure du cristallin est la plus pâle et la moins bien déterminée.

Pour les distinguer, l'observateur et l'observé se placent en face l'un de l'autre, l'appartement étant obscur ou peu éclairé, une bougie à flamme fixe est promenée devant l'œil

observé. Cette bougie est tenue à une distance de quelques centimètres. Les images sont plus facilement perçues si la lumière est placée sur le côté et si l'observateur emploie une loupe.

Les images droites suivent la direction prise par la flamme, l'image renversée marche en sens inverse. Si, par exemple, on porte la lumière à gauche, les images droites fournies par la cornée et la face antérieure du cristallin se déplacent vers la gauche, et l'image renversée fournie par la face postérieure du cristallin se dirige vers la droite.

Sanson a le premier appliqué la découverte de Purkinje au diagnostic différentiel de la cataracte. « Si le feuillet antérieur de la capsule est opaque, dit-il, on ne verra qu'une image droite; que si, au contraire, le segment postérieur de la capsule est opaque, on en verra deux droites. Ainsi donc, quand un trouble dans la vision coïncidera avec l'existence d'une ou deux lumières seulement, on pourra, nous le croyons du moins, conclure à la présence d'une cataracte, tandis que s'il y a trois images de la lumière, on pourra conclure à l'existence d'une amaurose. Il est vrai que dans la cataracte capsulaire postérieure, il peut exister trois images, mais alors le poli nécessaire à la production de l'image renversée ne laissera aucun doute dans le diagnostic. »

Cette opinion était trop absolue, car le cristallin peut être troublé à la périphérie, ce qui n'empêche pas les parties centrales de conserver leur transparence, de réfléchir la lumière et de donner naissance à la formation des images. Les images peuvent donc exister malgré la présence d'un trouble du cristallin. L'exagération que les élèves de Sanson mirent à soutenir son opinion et la difficulté de percevoir les images, ne tardèrent pas à faire renoncer à ce mode d'exploration.

Mackenzie a aussi conseillé l'étude de ces images pour le diagnostic du glaucôme.

Voici ce qu'il en dit :

« Les particularités suivantes méritent toute l'attention de l'observateur.

» Dans le glaucôme lenticulaire commençant, ou ce qu'on peut appeler le *premier* degré de la maladie, l'image droite profonde et l'image renversée sont visibles. L'image droite profonde est un peu plus grande et plus brillante que dans l'œil sain. Elle a aussi une teinte un peu jaune. A mesure que le glaucôme avance, l'image renversée devient plus grande, et de couleur jaunâtre. Son contour devient diffus plus tôt que celui de l'image droite profonde.

» Dans les cas moyens, ou ce qu'on peut appeler le *second* degré du glaucôme, l'image renversée est assez distincte quand elle est formée près du bord du cristallin. L'œil droit étant l'objet de l'examen, si l'observateur porte la bougie vers le côté droit du malade, l'image renversée est vue derrière le bord nasal de la pupille; mais si la bougie est portée lentement au devant de la partie moyenne de l'œil, l'image renversée devient de moins en moins distincte à mesure qu'elle se meut transversalement à la pupille, et dans quelques cas elle s'efface entièrement, jusqu'à ce que, la bougie approchant du côté gauche du malade, l'image renversée reparaisse derrière le bord temporal de la pupille, formée de nouveau par la circonférence de la capsule postérieure. Rien de semblable ne se voit dans la cataracte lenticulaire, maladie qui affecte toujours les lamelles superficielles du cristallin, de manière à empêcher la formation de l'image renversée par une partie quelconque de la surface postérieure de ce corps. L'absence de l'image renversée, quand la bougie est placée directement au devant de la pupille d'un œil affecté de glaucôme au second degré, est due à la perte de la transparence du noyau du cristallin, qui, ainsi que je l'ai dit, subit une dégénération particulière, caractérisée

par le dessèchement de sa substance et une couleur brun-rougeâtre.

» Dans le glaucôme lenticulaire complet, ou glaucôme au *troisième* degré, l'image renversée n'est plus visible, même au bord du cristallin.

» L'image droite profonde se voit mieux dans le second et le troisième degré du glaucôme que dans l'œil sain. Elle est grande et manifeste; mais son contour n'est pas net, de sorte qu'elle paraît souvent comme une flamme diffuse. C'est le noyau brun-rougeâtre du cristallin qui, agissant à la manière d'une *feuille,* la rend plus distincte que dans l'œil sain. »

La découverte de l'ophthalmoscope et des notions plus exactes sur la nature du glaucôme ont rendu inutile l'étude des images. Ce n'est pas à dire pour cela qu'il n'y ait des cas où leur recherche ne soit utile; tel est celui de lésions siégeant au pôle postérieur du cristallin. Ces lésions siégent-elles dans le cristallin ou dans la fossette hyaloïdienne, telle est la question qu'on est quelquefois obligé de résoudre. Pour connaître le siége de la maladie, on étudie l'image fournie par la capsule postérieure du cristallin. Si la lésion occupe les couches postérieures du cristallin, l'image fait défaut au niveau de l'opacité. Si la lésion se trouve dans la fossette hyaloïdienne, l'image est, au contraire, plus nette, parce que, suivant la remarque de Mauthner, la surface postérieure de la capsule du cristallin est en quelque sorte étamée par l'opacité, ce qui fait qu'elle réfléchit la lumière beaucoup plus que les parties voisines qui ont conservé leur transparence.

En ce qui concerne la cataracte zonulaire, Graefe signale l'emploi des images de Purkinje pour connaître l'épaisseur du noyau qui a conservé sa transparence. « L'expérience de Purkinje donne, dit-il, surtout si l'on dirige obliquement les rayons de lumière, un reflet très diffus de la couche opaque du cristallin, et la distance entre les deux

reflets permet d'apprécier approximativement l'épaisseur de la couche corticale transparente. » Il est évident qu'ici les images de Purkinje n'ont rien à faire; ce que Graefe emploie, ce sont seulement les reflets d'un cône lumineux projeté dans l'œil; en un mot, c'est l'éclairage oblique.

Pour conclure, nous dirons qu'en ce qui concerne l'examen de l'œil, les images de Purkinje, difficiles à saisir, ont perdu toute leur importance, depuis la découverte de l'ophthalmoscope, car cet instrument donne des résultats plus sûrs et plus faciles à obtenir.

70. **Kératoscopie.** — Ce mot vient de κέρας, κέρατος, cornée, et σκοπιὰ, action d'observer. Il a été employé par le Dr Cuignet, de Lille, qui donne la définition suivante : « Par ce mot, nous entendons la manière d'examiner la cornée, ainsi que les signes matériels et fonctionnels que fournit cet examen. »

Ainsi comprise, la kératoscopie embrasse une vaste étendue, car elle comprend tous les moyens d'examiner la cornée, examen à l'œil nu, examen avec des instruments grossissants, examen à l'eclairage oblique et à l'éclairage direct. Comme il ne s'agit ici que des miroirs, nous ne nous occuperons que des signes fournis par l'éclairage oblique.

La cornée, considérée comme un miroir, réfléchit la lumière et fournit des images. Si sa courbure se modifie, si sa surface s'altère sous l'influence des maladies, les images fournies ne présenteront plus le même aspect qu'à l'état normal. Ce sont ces modifications que nous avons à étudier, mais auparavant il nous faut connaître les phénomènes produits par une cornée normale.

Quand on veut examiner une cornée par l'éclairage oblique, l'appartement doit être obscur ou peu éclairé. Une lampe est placée à 30 centimètres environ de l'œil malade, à la même hauteur que cet œil et du côté externe.

Une lentille convexe de 2 pouces ou 20 dioptries métriques de foyer est tenue entre la lumière et l'œil à observer de manière à ce que son foyer se trouve sur la cornée. Les rayons lumineux reçus sur la lentille sont projetés sur la cornée et à l'aide de légers déplacements de la lentille, on peut successivement éclairer tous les points de la surface de cet organe.

Pour grossir les détails, l'observateur peut armer son œil d'une loupe.

La cornée normale, surtout chez les individus âgés, et chez ceux qui ont eu des kératites, présente un léger reflet grisâtre, peu accentué, dû à la réflexion de la lumière par les différentes couches de cet organe.

Dans les cas pathologiques, la déformation des images fournies par la cornée a été d'abord employée par Brewster pour démontrer les altérations de la surface de la cornée, lorsqu'il y a kératocone.

Voici comment il procéda chez une malade de Wardrop, dont nous empruntons l'observation au traité des maladies des yeux de Mackenzie.

« Une des malades de M. Wardrop avait remarqué que que lorsqu'elle regardait une bougie, elle en apercevait cinq ou six à la fois, et que chacune des images en était plus ou moins confuse. Lorsque sir David Brewster examina son œil, il remarqua que de quelque côté qu'on regardât la cornée, la section offrait une courbe régulière allant en augmentant vers le sommet. Comme cette maladie siégeait évidemment dans la cornée qui se projetait en avant à un degré anormal, il ne s'arrêta point à la pensée qu'il dût y avoir quelque défaut de structure du cristallin. Il se trouva donc porté à croire que les images brisées et confuses, qui paraissaient entourer les objets lumineux, étaient dues aux éminences qu'offrait la cornée, éminences qu'on ne pouvait découvrir lorsque l'on regardait l'œil de côté, mais que l'on pouvait reconnaître aux

effets qu'elles produisaient sur l'image d'un objet lumineux traversant la surface de la cornée. Il plaça donc une bougie à la distance de quinze pouces de la cornée, et en regardant dans la direction des rayons réfléchis, il observa les variations de dimension et de forme de la flamme. L'image réfléchie diminuait régulièrement d'étendue chaque fois qu'elle passait sur les parties les plus convexes de la cornée, mais arrivée sur la partie la plus rapprochée du nez, elle s'agrandissait et se rapetissait alternativement et éprouvait des modifications indiquant la présence d'un certain nombre d'éminences sphériques et de dépressions qui expliquaient comment la malade apercevait des images rompues et multiples. »

Tel est, à notre avis, le premier fait d'application de la forme des images fournies par la cornée dans les cas pathologiques. Il remonte à une époque antérieure à 1819, car c'est en cette année que parut le traité de Wardrop. Nos lecteurs connaissant l'influence de la longueur des rayons de courbure sur la grandeur des images, ont parfaitement compris les phénomènes signalés par Brewster.

En 1847, Hairion fait une conférence sur l'examen de la cornée par l'épreuve des images. Voici comment il s'exprime : « Si l'on présente une lumière devant une cornée opaque, leucomateuse, il y a production, tantôt d'une image nette, bien dessinée; tantôt d'une image étalée, brisée; tantôt d'une simple lueur. Dans le premier cas, on trouve que l'opacité consiste en un épanchement interlamellaire de lymphe plastique et que la surface de la cornée conserve son poli. Dans le second cas, au contraire, cette membrane est inégale à sa surface; ses lames superficielles ont reçu des atteintes plus ou moins profondes par la maladie, et l'opacité est constituée en totalité ou en partie par du tissu inodulaire. » Ce que voulait obtenir Hairion, c'était un moyen de distinguer les altérations superficielles des altérations profondes de la cornée, les

taches dues à un tissu cicatriciel des taches dues à un épanchement interlamellaire.

L'intention d'Hairion était meilleure que les résultats qu'il voulait obtenir, aussi n'ai-je trouvé dans aucun traité l'exposé de cette méthode.

Laugier reprend la question en 1850. Par la forme des images fournies par la cornée, il veut déceler les parties de cet organe où se trouvent de petits ulcères invisibles à l'œil nu. Si l'on examine, disait-il, un œil ainsi affecté à la lumière du jour, on trouve la cornée diaphane, les facettes échappent souvent aux regards. L'aplatissement le moins étendu, les facettes les plus petites, sont révélés par la diffusion de la lumière. Partout où la cornée a conservé sa convexité, fût-elle même opaque dans ses couches profondes, une image nette de la bougie est formée. La plus légère érosion, transparente même, étale l'image, la rend sphéroïdale ou circulaire, si la facette est elle-même arrondie, irrégulière ou diffuse, si elle a une forme irrégulière. Toutes ces variantes dans la forme des images dépendent en effet de la forme de courbure de la cornée au point où se réfléchissent les rayons lumineux. Le procédé de Laugier trouva peu d'applications, les ulcérations à facettes sont assez étendues pour être visibles à l'œil nu et quand elles sont très petites, elles s'accompagnent d'une trop grande photophobie pour permettre l'examen des images fournies par la cornée.

En 1852, Frœbelius a proposé l'étude des images de la cornée, non point comme Laugier pour déceler la présence des ulcérations, mais pour reconnaître leur marche progressive ou rétrograde. Quand les images de la surface ulcérée et de la partie saine voisine sont très différentes comme grandeur et forme, l'ulcère est en voie de progression. Quand, au contraire, la différence entre l'image de la partie saine et celle de la partie ulcérée est peu accentuée, on a affaire à la forme rétrograde. Nous ne pouvons

accepter cette opinion *à priori*. Ce n'est pas à la suite d'un premier examen qu'il faut se prononcer, mais après plusieurs examens répétés à quelques jours d'intervalle. Si, par exemple, on trouvait que la différence entre les deux images est plus accentuée que la veille, on pourrait en conclure que l'ulcération est plus profonde, et *vice versâ*. Du reste, c'est par l'ensemble des symptômes qu'il faut juger de la marche progressive de la maladie plutôt que par un moyen qui pourrait induire en erreur, car il est difficile de pouvoir apprécier nettement la différence de hauteur entre deux images très petites.

Pour compléter ces données historiques, il nous faudrait citer tous les auteurs qui avaient signalé les reflets lumineux observés par les cornées coniques, mais cela nous entraînerait trop loin et ne nous apprendrait rien de particulier.

La question a été reprise en 1873 par le Dr Cuignet, de Lille, avec de grands développements. Cet auteur distingue quatre modes d'examen de la cornée : 1° examen direct, 2° examen réfléchi, 3° éclairage latéral, 4° éclairage direct. Nous ne nous occuperons que de l'examen réfléchi, puisque c'est le seul qui a pour base les images réfléchies par la cornée.

« Lorsque, dit M. Cuignet, l'œil de l'observé regarde directement la fenêtre et que l'observateur regarde directement la cornée, l'image, très diminuée de la fenêtre, se peint très nettement sur le centre kératique avec les dimensions proportionnelles exactes. Ainsi, une fenêtre carrée est réfléchie et aperçue carrée au centre de cette cornée supposée saine. Mais si, sans changer de position par rapport à l'observé, on le fait regarder à droite ou à gauche, on voit l'image se déformer, s'allonger transversalement et devenir plus large à mesure qu'elle s'approche des confins kératiques. Si l'on fait regarder en haut ou en bas, cette même image s'allonge dans le sens vertical et

s'élargit de plus en plus par le point le plus rapproché de la circonférence de la cornée. Une fenêtre carrée a alors la forme d'une fenêtre longue, plus large vers l'extrémité correspondante au pourtour, plus étroite vers l'extrémité correspondante au centre cornéen. La cornée plus conique de certains myopes réfléchit une image plus petite au centre, se déformant plus sensiblement vers la périphérie. La cornée plus aplatie de l'hypermétrope donne une image réfléchie plus grande au centre et se déformant moins vers les contours kératiques. La cornée de l'emmétrope offre une image à dimensions et à variations moyennes. »

Ce procédé ne peut donner des résultats bien positifs. M. Cuignet semble même y avoir renoncé, car dans les travaux postérieurs qu'il a publiés sur la kératoscopie, il ne fait plus mention que de l'examen par l'éclairage direct à l'aide d'un ophthalmoscope peu concave.

On a vu (52) que l'étude comparative de la grandeur des images fournies par la cornée avait induit Scheiner en erreur sur la nature de la courbure de la cornée. Il pourrait en arriver de même si l'on voulait, par les variations de ces images, déterminer la réfraction d'un œil.

Malgré les efforts de M. Cuignet, la kératoscopie sera toujours inférieure à l'optométrie, car un optomètre donnera toujours des résultats plus précis et plus faciles à obtenir.

BIBLIOGRAPHIE

Aguilon, *Optica*, 1613.

Alhazen, *Opticæ thesaurus*. Basil. 1572.

risson, *Traité de physique*, p. 254. Paris, 1797.

Chossat, *Sur la courbure des milieux réfringents de l'œil de bœuf (Annales de physique et de chimie*, 1819, p. 339).

Cuignet, *Kératoscopie. (Recueil d'ophthalmologie*, 1873, p. 14).

Demours, *Maladies des yeux*, I, p. 47. Paris, 1818.

Forbes, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XX, p. 61.

Frœbelius, *Mémoire pour servir au diagnostic et au traitement de l'ulcère de la cornée (Annales d'oculistique*, t. XXXIV, p. 49, 1855.)

Gerson, *De formâ cornex oculi humani*, p. 21. Gœttingue, 1810.

Graefe, *De la cataracte stratifiée. (Annales d'oculistique*, t. XXXVI, p. 120, 1856.)

Hairion, *Examen de l'œil par l'épreuve des images (Annales d'oculistique*, t. XVIII, p. 71, 1847).

Kepler, *Ad Vitellionem*, 1614.

Knapp, *Congrès d'ophthalmologie*, p. 38, 1862.

— *Die krümmung der Hornhaut-Heidelberg*, 1860.

Laugier, *Nouveau Système pour reconnaître certaines déformations de la cornée (Union Médicale*, p. 110, 1850).

Mackenzie, Traduction Laugier et Richelot, p. 510. — Traduction Warlomont et Testelin, t. II, p. 232.

Petit, *Mémoire sur les yeux gelés*. Planque, Bibliothèque, t. VIII, p. 431.

Purkinje, *De examine physiologico organi visus*. Varsovie, 1823.

Sanson, *Traité de la cataracte*, p. 29. Paris, 1842.

Sappey, *Traité d'anatomie*, t. III, p. 719. Paris, 1872.

Sturm, *Cours d'analyse*, t. I, p. 218. Paris, 1857.

CHAPITRE X

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES MIROIRS

Dans les chapitres précédents, nous avons fait connaître les principales propriétés physiques des miroirs et donné la description de quelques ophthalmoscopes. Cette étude serait incomplète, si nous ne la terminions pas par un examen des conditions que doit posséder un miroir pour faciliter le plus possible l'exploration de l'œil.

Nous allons donc, dans ce chapitre, passer successivement en revue tout ce qui a trait aux miroirs, considérés comme étant des ophthalmoscopes, c'est-à-dire que allons étudier les miroirs dans leur rapport avec l'examen de l'œil.

71. Composition des miroirs. — Les miroirs sont en verre étamé ou en métal.

Les miroirs en verre sont moins altérables que les miroirs en métal, leur surface se dépolit moins facilement et ils sont plus clairs.

Les miroirs en métal ont l'avantage de posséder une ouverture nette, à bords tranchants et ne réfléchissant pas la lumière, ce qui est d'un grand poids pour l'examen de l'image droite.

Les miroirs en verre sont percés d'un trou au centre, ou bien l'étamage est seulement enlevé dans une petite étendue.

Pour l'étude de l'image droite, les miroirs percés valent mieux. Ceux qui ne sont pas percés affaiblissent la lumière

qui doit pénétrer dans l'œil de l'observateur en en réfléchissant une certaine quantité. Pour l'image renversée, on peut très bien pratiquer l'examen avec un miroir non percé.

72. **Genre de courbure.** — Les miroirs sont plans, concaves ou convexes; ils n'ont pas tous la même action sur la marche des rayons lumineux qu'ils projettent dans l'œil. Examinons-les successivement, en nous rappelant que les miroirs prismatiques peuvent être assimilés aux miroirs plans.

Le miroir plan, le plus simple de tous, fournit un faible éclairage. L'intensité lumineuse transmise à l'œil observé dépend de la somme des distances entre l'œil et le miroir, et entre le miroir et la source lumineuse. Cette intensité lumineuse, soumise à la loi du carré des distances, augmente au fur et à mesure qu'on approche le miroir de l'œil observé, car alors on diminue la distance. L'image de la flamme vient se peindre sur la rétine, et c'est même cette image qui constitue toute la surface éclairée de cet organe. On voit par là que l'étendue éclairée du fond de l'œil est fort restreinte.

Les miroirs plans transmettent à l'œil des rayons divergents, rayons qui arrivent à l'œil comme s'ils partaient de la flamme de la lampe, et qui sont concentrés par les milieux réfringents de l'œil sur la rétine ou dans le voisinage, suivant le degré de réfraction de l'œil.

Ces miroirs, donnant peu de lumière, sont utiles pour explorer un œil délicat, légèrement photophobe, et pour procéder à l'examen par l'image droite. Afin d'augmenter leur intensité lumineuse, on emploie une lentille convergente, placée du côté de la lampe, et destinée à leur transmettre les faisceaux lumineux à l'état de convergence.

Pour les besoins de la pratique ordinaire, les miroirs concaves sont préférables. Ils concentrent davantage la

lumière, fournissent un éclairage plus intense, et permettent d'embrasser une plus grande étendue de la cavité oculaire.

Le foyer conjugué qu'ils donnent de la flamme de la lampe, peut occuper différentes positions par rapport à l'œil observé. Ce foyer conjugué peut être placé en dehors de l'œil, dans l'intérieur ou sur la rétine.

Lorsque le foyer conjugué est placé en dehors de l'œil, les rayons lumineux, partis de cette image, arrivent sur l'œil à l'état de divergence, et cette image est comme un objet qui serait regardé. Elle vient se peindre sur la rétine ou dans son voisinage.

Si le foyer conjugué est dans l'intérieur de l'œil, les rayons pénètrent à l'état de convergence, et l'image de la lampe vient se former, quelque peu rapetissée, dans le cristallin ou le corps vitré. De ce point, les rayons vont en divergeant sur la rétine pour en éclairer une surface variable.

Le foyer conjugué se trouve-t-il exactement au niveau du centre optique ou dans son voisinage, les rayons arrivant convergents sur la cornée, le deviennent davantage par l'action de la cornée, et tout le cône lumineux pénétrant dans l'œil est utilisé pour l'éclairage. Cette condition est la meilleure de toutes pour l'examen de la cavité oculaire.

Il est important de faire observer que toutes les considérations auxquelles nous venons de nous livrer, se rapportent exclusivement à l'action du miroir concave sans emploi de lentilles, car si l'on emploie des lentilles, les conditions sont modifiées. Ce que nous venons de dire sur la position des foyers conjugués par rapport à l'influence de l'éclairage, ne trouve son application que dans les cas d'examen par la méthode de l'image droite.

Les miroirs convexes envoient toujours à l'œil des rayons divergents et plus divergents que les miroirs plans, auxquels ils sont inférieurs, comme intensité d'éclairage.

Ils déterminent sur la rétine une image très petite, car l'image formée sur la rétine est l'image de celle que fournit le miroir et qui est déjà très petite. Les rayons projetés par ces miroirs étant très divergents, il y a une grande déperdition de lumière.

Pour remédier à ces inconvénients, on agit comme avec les miroirs plans. On place entre ces miroirs et la source lumineuse une lentille biconvexe, dont la longueur focale est supérieure à la distance focale du miroir. Cette lentille fait converger les rayons de la lampe sur le miroir et en augmente la puissance d'éclairage. Si, comme nous l'avons vu à propos de l'ophthalmoscope de Zehender, le foyer de lentille, sa distance au miroir, et le miroir lui-même sont disposés d'une certaine façon, les rayons peuvent être projetés à l'état de convergence, comme avec les miroirs concaves.

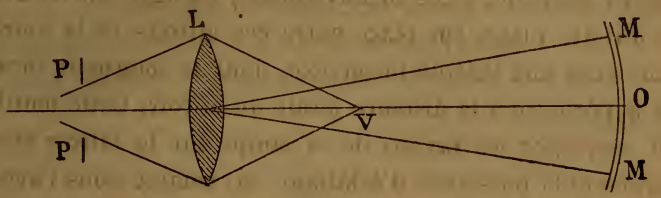
Somme toute, dans la pratique médicale, où l'on a besoin d'éclairer une grande surface et où l'on procède le plus souvent par la méthode de l'image renversée, les miroirs concaves l'emportent sur tous les autres; aussi ne faut-il pas s'étonner s'ils sont les plus répandus et les plus usités.

73. **Diamètre.** — On a vu que les différents miroirs concaves, employés pour l'examen ophthalmoscopique, présentaient des diamètres variables. En présence de ces variantes, on est conduit à se demander quel est le diamètre le plus convenable. Étudions cette question au point de vue du maximum de la surface éclairée.

Soit un miroir concave M M *(fig. 42)*, dont le diamètre est *m*, *v* est le point où se formera l'image renversée de la rétine; nous désignerons aussi par *r* la distance *v* O. Une lentille convexe L dont la distance focale est *f*, fait converger les rayons dans l'œil observé à travers la pupille P P. L'œil observateur est au point O. L'image aérienne du fond de l'œil est au point *v*, et la lentille L est éloignée de ce point *v*

d'une distance égale à f. Pour que l'observateur placé au point O, puisse percevoir cette image rétinienne au point v, il faut que la distance vO, que nous appelons r, soit égale à la distance de sa vision distincte, qui sera ici égale à r.

Fig. 42.



MM, miroir. — L, lentille. — PP, ouverture pupillaire.

Le miroir MM devant donner le maximum d'éclairage, devra avoir un diamètre m, tel que l'image de ce miroir, formée par la lentille L sur la pupille soit égale au diamètre de la pupille.

D'après la formule des lentilles convexes, exprimant la relation entre la grandeur de l'objet et de son image, formule que nous démontrerons plus tard, on a

$$\frac{I}{O} = \frac{f}{p - f};$$

I représentant l'image, O l'objet, p la distance de la lentille à l'objet, et f le foyer de la lentille.

Dans notre cas, I désigne le diamètre de la pupille, O le diamètre du miroir, p la distance du miroir à la lentille, qui est égale à $f + v$.

Nous avons donc

$$\frac{\text{Pupille}}{m} = \frac{f}{f + v - f} = \frac{f}{v}.$$

Le maximum ordinaire de dilatation de la pupille, qu'on obtient après instillation d'un collyre d'atropine, étant de

de 10 millimètres, l'équation précédente devient, pour déterminer le diamètre m du miroir,

$$m = \frac{10\,v}{f},$$

toutes ces valeurs étant exprimées en millimètres.

Si l'on remplace f par sa valeur D en dioptries métriques, cette équation prend la forme suivante, exprimée aussi en millimètres.

$$m = \frac{v\mathrm{D}}{100}.$$

On voit par là combien il est difficile *à priori* de déterminer quel diamètre doit avoir un miroir. En effet, cette valeur est en fonction des quantités variables v, distance de la vision distincte de l'observateur, et f, distance focale de la lentille employée.

En admettant que l'observateur puisse accommoder son œil pour une distance de 20 centimètres ou 200 millimètres, et que la lentille employée ait 2 pouces de distance focale, ou bien 20 dioptries métriques, on aura pour le diamètre du miroir, d'après la formule ci-dessus :

$$m = \frac{200.20}{100} = \frac{4000}{100} = 40 \text{ millimètres.}$$

Dans ces conditions, le diamètre du miroir, pour se prêter convenablement à l'observation, devra être de 4 centimètres, ce qui est en général la moyenne adoptée pour les miroirs.

74. **Rayon de courbure.** — Pour que le miroir fournisse le maximum d'éclairage, il faut que l'image qu'il donne de la flamme de la lampe vienne couvrir la surface de la lentille. Ceci se conçoit aisément. Il ne pénétrera dans l'œil observé

que les rayons qui auront traversé la lentille; le maximum sera atteint quand toute la surface de la lentille recevra des rayons lumineux.

L'image fournie par le miroir, pour couvrir la lentille, doit être éloignée du miroir d'une distance égale au foyer de la lentille, plus la distance de la vision distincte de l'observateur. Elle est égale à $v+f$, pour nous servir des mêmes lettres que dans les cas précédents. Mais $v+f$ est la distance du foyer conjugué de la flamme de la lampe.

La formule qui donne la relation entre le point lumineux et son foyer conjugué, est, pour les miroirs concaves,

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{1}{f}=\frac{2}{r}.$$

p est ici la distance de la lumière au miroir, p', ainsi que nous l'avons dit, est égal à $v+f$, et r est le rayon de courbure du miroir, qu'il s'agit de déterminer. Nous aurons donc, en faisant les substitutions :

$$r=\frac{2p(v+f)}{p+v+f}.$$

Par cette équation, qui nous donne la valeur du rayon en fonction de données variables, on voit qu'il est impossible de déterminer *à priori* quel est le rayon de courbure qui satisfera le mieux à toutes les conditions.

Ce n'est pas tout. Jusqu'ici, nous ne nous sommes occupé que du rayon de courbure dans ses rapports avec le foyer conjugué. La question n'est pas résolue, elle est plus complexe; car ce n'est pas seulement le foyer conjugué qui doit se trouver sur la lentille, c'est l'image de la flamme qui doit couvrir toute la surface de la lentille, car nous avons vu que, pour obtenir le maximum d'éclairage, il fallait que la surface entière de la lentille fût recouverte par l'image de la flamme.

La formule indiquant la relation entre la grandeur de l'objet et son image est, pour les miroirs concaves,

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{r - p'}{p - r}.$$

Ici, AB représente la grandeur de la flamme de la lampe; A'B' son image, qui doit être égale au diamètre de la lentille employée; p' est, comme nous l'avons vu, égal à $v + f$, et p est la distance de la flamme au miroir.

En substituant, dans cette formule, $v + f$ à p', nous avons

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{r - (v + f}{p - r};$$

d'où nous tirons la valeur de r :

$$r = \frac{AB(v + f) + A'B'.p}{p - r}.$$

r est ici en fonction de la distance du miroir à la lentille, de la distance de la lumière au miroir, de la distance de la vision distincte de l'observateur, de la grandeur de la flamme de la lampe employée, et du diamètre et du foyer de la lentille, quantités qui peuvent varier. De là la difficulté d'indiquer quel doit être le rayon de courbure d'un miroir mobile qui satisfera à la fois tout le monde. Pour les ophthalmoscopes fixes, où toutes les distances sont fixes et invariables, le rayon de courbure du miroir est facile à déterminer. Il est indiqué par la formule ci-dessus. Il n'en est pas de même des ophthalmoscopes mobiles, où l'observateur a la faculté de s'éloigner du malade, de modifier la position de la lumière et de changer de lentille.

Examinons cependant quel est le rayon de courbure le plus convenable pour la pratique ordinaire.

Remplaçons, dans la formule ci-dessus, les données par les chiffres moyens suivants :

AB, flamme de la lampe	2 centimètres.
A'B', image de la flamme, égale au diamètre de la lentille	3 —
v, distance de la vision distincte de l'observateur	20 —
f, foyer de la lentille convexe	5 —
p, distance de la lampe au miroir	40 —

on a :

$$r = \frac{2(20 + 5) + 3.40}{2.3} = 28 \text{ centimètres.}$$

La distance focale du miroir serait donc d'environ 14 centimètres. Mais on conçoit très bien que toutes les données pouvant varier, il est difficile *à priori* de déterminer exactement quel doit être le meilleur rayon de courbure à donner à un miroir concave pour obtenir le maximum d'éclairage, quand on procède à l'examen par l'image renversée.

75. **Trou du miroir.** — M. Landolt a très bien résumé tout ce qu'il y avait à dire à cet égard. Voici comment il s'exprime, nous ne saurions mieux dire : « Quant au trou du miroir, il ne faut pas qu'il soit trop étroit, parce que dans ce cas il agirait comme un trou sténopéique et empêcherait la détermination de la réfraction du sujet examiné. Il ne faut pas non plus que l'ouverture du miroir occupe une trop grande étendue dans la surface réfléchissante, parce qu'il intercepte alors une trop grande partie de la lumière et diminue trop l'éclairage. Il doit avoir au moins trois millimètres de diamètre, mais il peut sans inconvénients en avoir quatre. »

Si le miroir est percé, l'orifice du trou doit toujours être très net, pour éviter la réflexion de la lumière sur les bords. C'est pour éviter cette réflexion, toujours gênante

lors de l'examen à l'image droite, que M. Landolt a conseillé, avec juste raison, de noircir les parois de cet orifice. Pour les miroirs percés, les substances métalliques sont préférables au verre, parce qu'avec un métal on obtient, plus facilement qu'avec le verre, une ouverture très nette. Les miroirs en verre percés présentent souvent un orifice à bords baveux et déchiquetés, ce qui est toujours préjudiciable à la netteté de l'exploration.

Euler a fait observer que lorsque la largeur du cône lumineux qui arrive sur l'œil, égale ou surpasse la dimension de la pupille, la clarté obtenue est complète. Dans le cas contraire, c'est-à-dire si la largeur du cône est plus petite que le diamètre de la pupille, la clarté obtenue peut être suffisante, mais elle diminue en raison du carré. Pour que le trou du miroir laisse arriver à la pupille un cône lumineux dont la largeur ne soit pas inférieure au diamètre de la pupille, il faut donc que le trou du miroir ait une étendue qui ne soit pas trop inférieure à la pupille. C'est pour cela qu'il faut adopter le chiffre de 3 à 4 millimètres, comme le conseille M. Landolt.

76. **Application des images fournies par les miroirs à la détermination de la réfraction de l'œil observé.** — Les images fournies par les miroirs peuvent être projetées sur la rétine et utilisées pour le diagnostic de la réfraction de l'œil observé. Ce procédé est peu pratique, à cause de la difficulté des mensurations, et il ne donne pas les résultats précis qu'on obtient avec les lentilles; cependant nous ne pouvons le passer sous silence, parce que MM. Snellen et Landolt l'ont savamment exposé.

Distinguons deux cas, suivant que l'ophthalmoscope est à miroir plan ou à miroir concave.

Le miroir employé est-il un miroir plan sans addition de lentille, et l'observateur aperçoit-il à distance et nettement sur la rétine l'image de la flamme, il faut en conclure,

si l'accommodation est paralysée, que l'œil observé est emmétrope. Car les rayons fournis par ce miroir plan pénètrent dans l'œil presqu'à l'état de parallélisme, et si l'œil observé a, sur sa rétine, réuni en foyer ces rayons parallèles, c'est qu'il est emmétrope.

Si l'observateur est obligé de s'approcher de très près pour apercevoir l'image de la flamme sur la rétine, l'œil observé est myope, car l'image ne s'est formée sur sa rétine que lorsque le point lumineux s'est trouvé placé à une distance de l'œil égale à son punctum remotum.

Si l'on désigne par p la distance de la lumière au miroir, et par d celle du miroir à l'œil, le punctum remotum de l'œil observé sera à une distance égale à $p+d$, et la fraction

$$\frac{100}{p+d}$$

indiquera en dioptries métriques la valeur de la myopie.

Exemple. — Supposons une lumière à 20 centimètres du miroir. Le miroir a été placé à un peu moins de 5 centimètres de l'œil observé, pour apercevoir nettement l'image de la flamme sur la rétine; la myopie sera

$$\frac{100}{20+5} = 4 \text{ dioptries métriques.}$$

Le miroir est-il concave, ou bien plan muni d'une lentille convexe, l'image de la flamme vue sur la rétine indique un œil hypermétrope. Le degré de cette hypermétropie est égal à la distance entre le sommet du cône lumineux et le point nodal de l'œil observé.

Si nous prenons la formule des miroirs concaves où p désignera la distance de la lumière au miroir, p' la distance de l'image au miroir, f la distance focale du miroir, et enfin, si nous désignons par d la distance du miroir à l'œil lorsque l'image a été nettement vue sur la rétine,

nous aurons pour le degré de l'hypermétropie, en dioptries métriques :

$$\frac{100\,(p-f)}{pf+(f-p)\,d'}$$

formule qui démontre que si p reste constant, le degré de l'hypermétropie est en raison inverse de la distance du miroir à l'œil.

Exemple. — Une lumière est située à 30 centimètres d'un miroir concave qui a 15 centimètres de distance focale. Le miroir a été placé à 6 centimètres de l'œil observé pour nettement percevoir l'image de la flamme sur la rétine. L'hypermétropie sera

$$\frac{100\,(30-15)}{30.15+(15-30)\,6} = 5 \text{ dioptries.}$$

BIBLIOGRAPHIE

Euler, *Précis d'une théorie générale de la dioptrique, Histoire de l'Académie des Sciences,* année 1765.

Helmholtz, *Optique physiologique,* p. 245.

Landolt, *Manuel d'ophthalmoscopie,* p. 80. Paris, 1878.

Snellen et Landolt, *Handbuch der gesammten Augenheilkunde,* III, 129.

CHAPITRE XI

LUMIÈRE RÉFRACTÉE

77. **Définition.** — Un rayon lumineux qui, d'un milieu transparent, passe dans un autre milieu, change brusquement de direction à la surface de séparation des deux milieux. Cette déviation s'appelle la *réfraction*.

Le rayon incident, c'est-à-dire le rayon contenu dans le premier milieu, le rayon réfracté c'est-à-dire le rayon dévié et contenu dans le second milieu, et la normale au point d'incidence, forment trois lignes droites situées dans un même plan.

L'angle formé par le rayon incident et la normale au point d'incidence s'appelle l'*angle d'incidence*. L'angle formé par le rayon réfracté et la normale s'appelle l'*angle de réfraction*. Les sinus de ces deux angles sont dans un rapport constant et invariable, toutes les fois que la lumière traverse les deux mêmes milieux.

78. **Indice de réfraction.** — Ainsi, toutes les fois que la lumière passera de l'air dans le verre, quel que soit l'angle d'incidence, l'angle de réfraction sera tel, que le sinus du premier angle comparé au sinus du second donnera toujours un même nombre. Ce même nombre, qui désigne le rapport constant entre ces deux milieux ou entre deux milieux quelconques, s'appelle l'*indice de réfraction*.

Si l'angle d'incidence est i, l'angle de réfraction r, et n l'indice de réfraction, on aura toujours la relation suivante :

$$\frac{\text{Sin}\, i}{\text{Sin}\, r} = n.$$

Si dans cette équation nous faisons sin $i = 0$, c'est-à-dire si le rayon incident tombe perpendiculairement à la surface de séparation et se confond avec la normale, sin r devient aussi égale à 0 et le rayon incident traverse le second milieu sans subir de déviation dans sa direction, il continue sa route comme s'il n'avait pas été réfracté.

Les indices de réfraction étant calculés pour chaque substance par rapport à une autre substance, il est important pour la pratique de savoir comment, avec ces données, on peut obtenir l'indice de réfraction pour deux milieux quelconques. Afin de préciser, prenons un exemple. L'indice de réfraction des rayons passant de l'air dans l'humeur aqueuse est 1,34, celui des rayons passant de l'air dans le cristallin est 1,45. Avec ces indices, il s'agit de trouver celui du passage des rayons de l'humeur aqueuse dans le cristallin. Pour le premier indice de réfraction, celui du passage de l'air dans l'humeur aqueuse, nous avons la formule

$$\frac{\text{Sin}\, i}{\text{Sin}\, r} = n \text{ ou } 1{,}34.$$

Pour le second indice, celui du passage de l'air dans le cristallin, nous avons aussi, en désignant l'angle de réfraction par r', et l'indice par n',

$$\frac{\text{Sin}\, i}{\text{Sin}\, r'} = n' \text{ ou } 1{,}45.$$

Ces deux équations, ayant sin i commun, donnent

$$\frac{\text{Sin}\, r}{\text{Sin}\, r'} = \frac{n'}{n} = \frac{1{,}45}{1{,}34} = 1{,}08.$$

L'indice de réfraction des rayons lumineux passant de l'humeur aqueuse dans le cristallin sera donc 1,08.

On pourrait, à l'aide de la formule

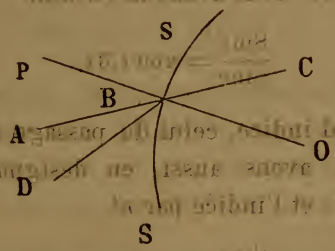
$$\frac{\text{Sin } r}{\text{Sin } r'} = \frac{n'}{n},$$

calculer tous les indices de réfraction pour le passage des rayons lumineux d'un milieu dans un autre, étant donnés les indices de réfraction de ces milieux pour l'air ou le vide.

79. Effets résultant de la coïncidence de deux rayons lumineux dans un même milieu. — Lorsque deux rayons lumineux traversent en sens contraire un nombre quelconque de milieux uniréfringents et que dans l'un de ces milieux ils se confondent en une même droite, ils se confondent également dans tous les milieux.

Cette proposition d'Helmholtz est très importante, car elle est la base de la théorie mathématique de la lueur oculaire. On peut même ajouter qu'elle a été le point de départ de la découverte de l'ophthalmoscope.

Fig. 43.



SS, surface de séparation des deux milieux. — AB, BC, rayons lumineux. OBP, normale au point d'incidence.

Soient *(fig. 43)* SS une surface courbe séparant deux milieux, m l'indice de réfraction du premier milieu et n celui du second.

Supposons un rayon AB, situé dans le premier milieu; arrivé au point B, il rencontre le second milieu, se réfracte, fait avec la normale OP un angle CBO et prend la direction BC. Supposons maintenant un second rayon CB, coïncidant avec le premier et se dirigeant vers B; il se réfracte au point B et doit prendre la direction BA. Admettons qu'il n'en soit pas ainsi et qu'au lieu de prendre la direction BA, il prenne la direction BD, par exemple. Si nous démontrons qu'il n'a pu prendre cette direction, mais qu'il a pris forcément la direction BA, nous aurons démontré que les rayons BC et CB marchant en sens inverse et se confondant dans le second milieu, se confondent aussi dans le premier.

Les droites AB, BC et PO étant situées dans un même plan, on a pour le rayon AB,

$$m \sin ABP = n \sin CBO.$$

Pour le rayon CB, contenu aussi dans le même plan, on a

$$n \sin CBO = m \sin DBP.$$

Ces deux équations, à cause de $n.\sin CBO$ commun, donnent

$$m.\sin ABP = m \sin DBP,$$

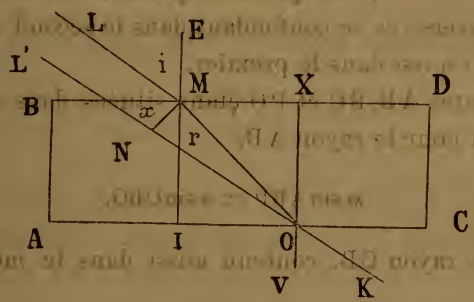
équation qui démontre que les deux angles ABP et DBP sont égaux; par conséquent DB doit coïncider avec AB. Le rayon CB a donc pris la direction BA, et les deux rayons coïncidant dans le second milieu coïncident aussi dans le premier.

80. **Réfraction à travers un milieu limité par deux surfaces planes et parallèles.** — Ce mode de réfraction est celui qui est produit par les plaques de verre, dont les surfaces sont planes et parallèles. L'effet de ces verres

est de dévier la direction des rayons lumineux et par suite de donner à l'objet que l'on regarde l'apparence d'une situation qu'il n'occupe pas en réalité.

Dans la pratique, pour les verres de conserves, comme pour les verres de vitre, l'écart entre l'objet et son image est de si peu d'importance qu'il peut être négligé; mais comme M. Helmholtz a utilisé pour son ophthalmomètre la réfraction à travers les plaques de verre, il nous a paru indispensable de traiter cette question.

Fig. 44.



A C D B, milieu limité par des surfaces planes et parallèles. — L M, rayon lumineux. E I, normale au point M. — X O V, normale au point O.

Soit *(fig. 44)* un rayon lumineux LM tombant obliquement sur une plaque de verre au point M, le rayon se réfractant prend la direction MO en se rapprochant de la perpendiculaire ET; arrivé au point O, comme le rayon passe dans un milieu moins réfringent, il s'éloigne de la perpendiculaire OV et prend la direction OK. Un œil placé au point K verra le point L au point L'. Si du point M, nous abaissons sur la ligne KONL' une perpendiculaire MN ou x, la longueur MN ou x mesurera l'écart entre l'objet L et son image L'.

Cet écart se mesurera de la manière suivante :

Soient *(fig. 44)* une plaque de verre ABDC, LM le rayon incident, MO le rayon réfracté, OK le rayon

émergent, EM la perpendiculaire au point d'incidence, OV la perpendiculaire au point d'émergence. Désignons par h la hauteur OX de la plaque de verre.

Remarquons 1° que l'angle d'incidence LME, que nous désignons par i, égale l'angle COK; 2° que l'angle de réfraction IMO, que nous désignerons par r, égale l'angle MOX; 3° que l'angle MON égale l'angle XON moins l'angle XOM.

Dans le triangle rectangle MON, nous avons

$$\text{(1)} \qquad \text{MN ou } x = \text{MO.sin MON.}$$

Dans le triangle rectangle MOX, nous avons

$$\text{(2)} \qquad \text{MO} = \frac{\text{OX}}{\cos \text{MOX}} = \frac{h}{\cos r}.$$

Si dans l'équation (1) nous remplaçons MO par sa valeur tirée de l'équation (2), et d'un autre côté, si nous remplaçons l'angle MON par l'angle XON moins l'angle XOM, nous aurons :

$$\text{(3)} \qquad x = \frac{h \sin(\text{angle XON} - \text{angle XOM})}{\cos r} = h \frac{\sin(i - r)}{\cos r}.$$

Étant connu l'angle d'incidence LME ou i, l'indice de réfraction du verre, on calculera l'angle de réfraction IMO ou r par les formules ordinaires. Quant à l'épaisseur de la plaque de verre, une simple mensuration suffira pour l'obtenir. Toutes ces données étant acquises, il ne restera plus qu'à mesurer l'écartement entre l'objet et son image au moyen de la formule (3) ci-dessus.

81. **Ophthalmomètre d'Helmholtz.** — L'ophthalmomètre d'Helmholtz se compose de deux lames de verre d'égale épaisseur, placées l'une au-dessus de l'autre et mobiles en sens opposé autour d'un axe vertical. Ces deux lames de

verre, à surface parallèle, sont placées devant l'objectif d'une lunette, et elles tournent de manière à ce que l'axe de la lunette passe toujours par le sommet de l'angle qu'elles forment entre elles.

Cet instrument sert à déterminer le diamètre d'une image, et il est employé pour les calculs relatifs à la grandeur des images fournies par la cornée et par les deux faces du cristallin.

Si l'on fait tourner les deux plaques de l'instrument lors de l'examen d'une image fournie par la cornée, par exemple, chaque plaque donnera à l'observateur la sensation d'une image. L'observateur verra donc deux images. S'il tourne les plaques de manière à ce que les deux images soient juxtaposées, c'est-à-dire se touchent par leurs bords extérieurs, l'angle formé par les deux plaques permettra de calculer le diamètre de l'image.

Pour une lame de verre, nous avions la formule (page 160)

$$x = h.\frac{\sin(i - r)}{\cos r};$$

pour deux lames, la valeur est double, et nous avons pour D, diamètre de l'image,

$$D = 2h\frac{\sin(i - r)}{\cos r}.$$

L'angle i est donné par un cercle gradué, situé sur l'instrument. L'angle r, angle de réfraction, se déduit de l'angle i, par l'équation que nous avons donnée (page 156). L'angle d'incidence i étant connu, ainsi que l'indice de réfraction n, il est facile de calculer l'angle de réfraction.

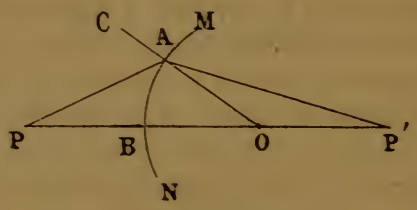
Exemple. — Prenons l'exemple cité par Aubert à propos de la mensuration du rayon de courbure de la cornée. L'angle i indiqué par l'ophthalmomètre est de 30°58. L'indice de réfraction des plaques étant 1,5320,

l'angle $r = 19°38'$, l'épaisseur h des plaques est 4,4105, le diamètre de l'image est donc

$$D = \frac{2.4,4105 \sin 11°20'}{\cos 19°38'} = 1,8405 \text{ millimètres.}$$

82. **Réfraction à travers une surface sphérique.** — Soient *(fig. 15)* PP′ l'axe passant par le centre O d'une surface sphérique MN; P un point lumineux situé sur cet axe: PA, un rayon incident, faisant avec la normale OAC, l'angle d'incidence PAC; AP′ le rayon réfracté, et OAP′ l'angle de réfraction.

Fig. 15.



MN, surface sphérique. — PP′, axe principal. — P, point lumineux. OAC, normale au point d'incidence.

Désignons par i l'angle d'incidence PAC, par i' l'angle de réfraction OAP′, par a l'angle BPA, par b l'angle BOA, par c l'angle OP′A, par n l'indice de réfraction du second milieu, par p la distance PB et par p' la distance BP′.

D'après la loi sur la réfraction, nous avons d'abord

$$\sin i = n \sin i'. \tag{1}$$

Les angles i et b étant extérieurs, l'un au triangle APO et l'autre au triangle OAP′, on a

$$i = a + b \tag{2}$$

et

$$b = c + i'. \tag{3}$$

Si l'on admet que l'angle a soit très petit, on pourra considérer PA comme égal à PB, AO = OB et AP′ = BP′. On pourra aussi prendre les arcs pour les sinus, et réciproquement.

En remplaçant dans l'équation (1) i et i', par leurs valeurs tirées des équations (2) et (3), nous avons

$$a + b = n(b - c)$$

que nous pouvons mettre sous la forme

$$a + nc = (n - 1)b. \tag{4}$$

Si dans cette équation (4), nous remplaçons ces angles par leurs sinus, qui sont, en faisant PA = PB, etc., comme nous l'avons déjà admis,

$$\text{Sin}\, a = \frac{\text{AB}}{\text{PB}} = \frac{\text{AB}}{p},$$

$$\text{Sin}\, b = \frac{\text{AB}}{\text{OB}} = \frac{\text{AB}}{r},$$

$$\text{Sin}\, c = \frac{\text{AB}}{\text{BP}'} = \frac{\text{AB}}{p'},$$

nous aurons :

$$\frac{\text{AB}}{p} + \frac{n\,\text{AB}}{p'} = (n - 1)\,\frac{\text{AB}}{r}.$$

Divisant le tout par AB, il vient

$$\frac{1}{p} + \frac{n}{p'} = \frac{n - 1}{r}, \tag{5}$$

formule qui exprime la relation entre les valeurs p, p', n et r.

Exemple. — Un objet lumineux est placé à 50 centimètres de distance d'un milieu limité par une surface sphérique, dont le rayon de courbure est de 5 centimètres, et l'indice de réfraction par rapport au premier milieu 1,5. On demande où se formera l'image de l'objet lumineux?

D'après la formule ci-dessus, et, en substituant les valeurs données aux lettres, on a

$$\frac{1}{50} + \frac{1,5}{p'} = \frac{1,5 - 1}{5};$$

d'où nous tirons pour la valeur de p', 18,75. L'image sera donc à 18^c,75 de la surface de séparation des deux milieux.

83. **Foyer principal.** — Si dans l'équation (5) donnée au paragraphe précédent, nous faisons $p = \infty$, c'est-à-dire si nous admettons que les rayons émanés du point P soient parallèles à l'axe PP' *(fig. 45)*, nous aurons

$$p' = \frac{nr}{n-1}.$$

Ce qui indique que les rayons parallèles, tombant sur la surface sphérique MN, formeront après leur réfraction un faisceau conique dont le sommet sera au point P', à une distance de la surface MN égale à $\frac{nr}{n-1}$. Le sommet de ce cône sera le *foyer principal postérieur.*

Si nous faisons au contraire, $p' = \infty$, nous aurons

$$p = \frac{r}{n-1}.$$

Ce qui indique que les rayons parallèles émanés d'un point situé à droite de la surface MN formeront, après leur réfraction, un faisceau conique dont le sommet sera au point P, à une distance de la surface MN égale à $\frac{r}{n-1}$. Le sommet de ce cône sera le *foyer principal antérieur.*

Pour l'œil, il faut tenir compte de ces foyers. Pour une lentille, c'est inutile, car ils sont égaux.

84. **Formule** $\frac{F}{p} + \frac{F'}{p'} = 1$. Si dans l'équation

$$\frac{1}{p} + \frac{n}{p'} = \frac{n-1}{r}, \text{ indiquée (page 163),}$$

nous faisons successivement p et $p' = \infty$ et que nous désignions par F et F' les valeurs qui y correspondent, nous aurons

$$\text{pour } p = \infty, p' = \frac{nr}{n-1} = F', \quad \text{d'où } nr = (n-1)F';$$

$$\text{pour } p' = \infty, p = \frac{r}{n-1} = F, \quad \text{d'où } r = (n-1)F.$$

Multiplions par $\frac{r}{n-1}$ tous les termes de l'équation ci-dessus, nous aurons

$$\frac{r}{(n-1)p} + \frac{nr}{(n-1)p'} = \left(\frac{r}{n-1}\right)\left(\frac{n-1}{r}\right) = 1.$$

Remplaçant r et nr par leurs valeurs $(n-1)F$ et $(n-1)F'$, il vient :

$$\frac{(n-1)F}{(n-1)p} + \frac{(n-1)F'}{(n-1)p'} = 1;$$

d'où nous tirons

$$\frac{F}{p} + \frac{F'}{p'} = 1.$$

Cette équation, qui permet de ne tenir compte que des distances focales, abstraction faite des rayons de courbure et de l'indice de réfraction, est très usitée en ophthalmologie, pour les calculs qui se rattachent aux milieux réfringents de l'œil. C'est en nous fondant sur cette équation que nous calculerons la longueur de l'œil amétrope.

La relation entre la grandeur de l'objet et son image est

donnée par les deux équations suivantes, O étant l'objet et I son image,

$$\frac{I}{O} = \frac{F}{F - p} \qquad \text{et} \qquad \frac{I}{O} = \frac{F' - p'}{F'}$$

l'une en fonction de F et p, et l'autre en fonction de F′ et p'.

85. **Longueur de l'œil amétrope.** — En admettant les données de Donders pour l'œil réduit, œil qui représente les propriétés optiques de l'œil humain normalement conformé, le foyer antérieur de cet œil est à 15 millimètres en avant de la cornée, et le foyer postérieur, situé sur la rétine, est à 20 millimètres de la cornée. Cette distance focale postérieure indique donc la longueur d'un œil emmétrope.

Fig. 46.

P, punctum remotum. — C, cornée. — RH, rétine de l'œil hypermétrope. RE, rétine de l'œil emmétrope. — RM, rétine du myope.

Si l'œil est amétrope, myope ou hypermétrope, il sera plus long ou plus court, d'une quantité η *(fig. 46)*, qu'il s'agit de calculer.

Prenons, par exemple, un œil myope. Le foyer postérieur de cet œil sera sur la rétine à une distance de la cornée égale à p', et la différence entre cette longueur p' et celle d'un œil normal F′, sera égale à η.

De la formule

$$\frac{F}{p} + \frac{F'}{p'} = 1$$

nous tirons la valeur de p', qui est

$$p' = \frac{pF'}{p - F}.$$

p est la distance du punctum remotum de cet œil myope que nous considérons; p' la distance entre la cornée et la rétine; F et F′ les longueurs focales antérieures et postérieures d'un œil à réfraction normale.

Pour que l'œil myope que nous considérons, voie à l'infini, c'est-à-dire pour que les rayons venant du punctum remotum soient parallèles à leur arrivée sur la cornée, une lentille de correction est indispensable. Cette lentille ou verre concave, qui procurera cette correction, aura pour le cas actuel un foyer égal à $p - F$. Désignons cette lentille par L.

Nous aurons

$$L = p - F \qquad \text{et} \qquad p = L + F.$$

Transportant cette valeur de p dans l'équation précédente, nous aurons successivement

$$p' = \frac{F'(L+F)}{L} = F' + \frac{FF'}{L},$$

d'où nous tirons la valeur de η qui est égale à $p' - F'$

$$\eta = p' - F' = \frac{FF'}{L}.$$

Comme pour l'œil normal F égale 15 millimètres, et F′, 20 millimètres, nous avons pour la valeur de η

$$\eta = \frac{300}{L}.$$

Il ne reste plus qu'à calculer en millimètres la distance

focale de la lentille L, pour faire la division et obtenir la valeur de η.

Nous avons supposé un œil myope, mais nous serions arrivé au même résultat si nous avions supposé un œil hypermétrope. Il faut seulement remarquer que la valeur de η s'ajoute à la longueur de l'œil normal, si l'œil est myope, parce que l'œil myope est plus long; qu'elle se retranche au contraire de la longueur de l'œil normal, quand l'œil considéré est hypermétrope, parce que cet œil est plus court qu'un œil emmétrope.

« Qu'y a-t-il donc de plus simple, dit M. Landolt, que de calculer de tête la longueur d'un œil amétrope? Il n'y a qu'à diviser 300 par la distance focale, exprimée en millimètres du verre correcteur, et à retrancher le produit de la longueur d'un œil hypermétrope ou à l'ajouter pour la myopie. Demande-t-on la longueur d'un œil hypermétrope corrigé par la lentille n° 5, nous disons $5\,D = 200$ mm. de distance focale, donc $\eta = 1^{mm},5$. Cet œil hypermétrope est donc de $1^{mm},5$ plus court que l'œil emmétrope. »

Le calcul peut être encore simplifié et rendu plus expéditif. Voici comment nous procédons, en supposant que les lentilles employées ont été conformes au système métrique.

La lentille D dioptries métriques, qui a été employée, a en millimètres une distance focale égale à 1000 millimètres divisés par le numéro de cette lentille D. Dans la formule que nous avons donnée, remplaçons L par cette valeur de la lentille D, exprimée en distance focale, nous aurons

$$\eta = \frac{300}{\frac{1000}{D}} = \frac{300\,D}{1000} = \frac{3\,D}{10}.$$

Pour obtenir la valeur de η, il suffit donc de multiplier le numéro de la lentille par 3 et de diviser le produit

par 10, ou de retrancher un chiffre à la droite du produit. Ce calcul peut se faire de tête et il est aussi simple que possible.

Quand nous avons publié cette démonstration dans le *Bordeaux médical*, nous ignorions le travail que M. Landolt avait présenté au Congrès de Genève, travail dans lequel il nous avait précédé et avait indiqué la solution à laquelle nous étions arrivé.

Exemple. — Prenons l'exemple de M. Landolt. Une hypermétropie est corrigée par une lentille n° 5. Nous multiplions 5 par $3 = 15$; nous divisons par 10, ou nous retranchons un chiffre à droite, et nous avons $1^{mm},5$ pour la valeur de η. Cet œil est $1^{mm},5$ plus court qu'un œil normal.

Exemple. — Une myopie est corrigée par un verre de 20 dioptries. Nous multiplions 20 par 3, et nous obtenons 60; nous retranchons un chiffre à droite, et il nous reste 6 millimètres pour exprimer la quantité dont cet œil myope surpasse la longueur d'un œil normal.

86. **Formule** $ll' = FF'$. — Si, dans l'équation que nous venons de donner au paragraphe 84, $\frac{F}{p} + \frac{F'}{p'} = 1$, nous désignons par l la distance du point lumineux au premier foyer F, et par l' la distance de son image au second foyer F', nous aurons $l = p - F$ et $l' = p' - F'$. En transportant ces valeurs dans l'équation ci-dessus, nous aurons

$$\frac{F}{l + F} + \frac{F'}{l' + F'} = 1,$$

d'où

$$ll' = FF'.$$

C'est la formule la plus simple pour exprimer la position des images, quand on connaît les distances focales.

La relation entre la valeur de l'objet et son image est la suivante, en désignant l'objet par O et l'image par I,

$$\frac{O}{I} = \frac{l}{F} \qquad \text{et} \qquad \frac{I}{O} = \frac{l'}{F'}.$$

Cette formule a été utilisée par M. le Dr Badal pour la démonstration de son phakomètre que nous allons décrire.

87. **Phakomètre du Dr Badal.** — Cet instrument permet de déterminer très exactement, en quelques secondes, le numéro des verres de lunettes et des lentilles d'essai, concaves ou convexes, employées par les oculistes. Il se compose *(fig. 47)* d'un premier tube en cuivre de 3 centimètres environ de diamètre, terminé à son extrémité postérieure par un diaphragme *d*, de 1 centimètre d'ouverture environ, contre lequel s'applique le verre à examiner. Un presse-objet *p*, tendu par un ressort à boudin *r*, maintient le verre en place, de façon à laisser les mains libres pour la manœuvre de l'instrument.

Dans ce premier tube se trouve une lentille biconvexe *l'*, séparée du diaphragme par un intervalle *dl'*, égal à sa longueur focale. Cette lentille est mobile autour d'un pivot extérieur *s*, de sorte qu'on peut à volonté la laisser en place dans le tube, ou bien la porter au dehors en *l*.

Un second tube glisse à frottement dans le premier; son extrémité postérieure porte une plaque de verre dépoli *e*, formant écran. Sur la longueur de ce tube, est gravée une double graduation *m* indiquant les longueurs focales en pouces, pour les anciennes lentilles, et la puissance réfringente en dioptries, demi-dioptries et quarts de dioptrie, pour les nouvelles.

Étant donné un verre de lunette dont on désire connaître le numéro, on doit d'abord se conformer aux instructions suivantes pour la situation à donner à la lentille *l'*.

Pour les verres positifs ou négatifs, de 0,50 à 10 dioptries,

on laissera dans le tube, la lentille du phakomètre, comme cela est indiqué en *l'*.

Pour les verres positifs de plus de 10 dioptries, on met la lentille hors du tube, en *l*. Dans ce cas, tout se réduit à mesurer directement la longueur focale du verre examiné, en recevant sur l'écran l'image d'objets éloignés.

Pour les verres négatifs de plus de 10 dioptries, on laisse la lentille dans le tube, et on juxtapose au verre dont on cherche le numéro, une lentille positive de 10 dioptries. On devra, par conséquent, ajouter le nombre 10 au numéro de la graduation obtenu par cette épreuve. Ainsi on a obtenu — 5,5 dioptries, le verre examiné a une puissance réfringente égale à — (5,50 + 10) = — 15,50.

Il est bon de faire deux déterminations, l'une en plaçant la lentille + 10 en avant du verre examiné, l'autre en la plaçant derrière. On prend la moyenne

Fig. 47.

Phakomètre Badal.

et on corrige ainsi l'erreur résultant de l'épaisseur des verres.

Ceci posé, le verre de lunette dont il s'agit de déterminer le numéro, étant mis en place à l'extrémité de l'instrument, comme l'indique la figure 47, l'examinateur applique son œil contre l'œilleton *o*, et vise un objet éloigné, comme il le ferait avec une lunette d'approche; puis, faisant glisser le premier tube sur le second, en avant ou en arrière, suivant que l'image reçue par le verre dépoli devient plus nette dans un sens que dans l'autre, il cherche la *mise au point* la plus exacte possible, absolument comme s'il s'agissait de mettre au point la plaque d'un appareil photographique. A ce moment, le numéro du verre examiné est donné par le numéro de la graduation auquel correspond l'extrémité antérieure *u* du premier tube.

Pour que l'épreuve soit aussi bonne que possible, il faut fixer de préférence des objets offrant d'assez fins détails. Le plus léger défaut de mise au point devient alors facilement appréciable.

L'instrument présente cet avantage que les anomalies de réfraction de l'œil observateur n'ont aucune influence fâcheuse sur la précision des résultats.

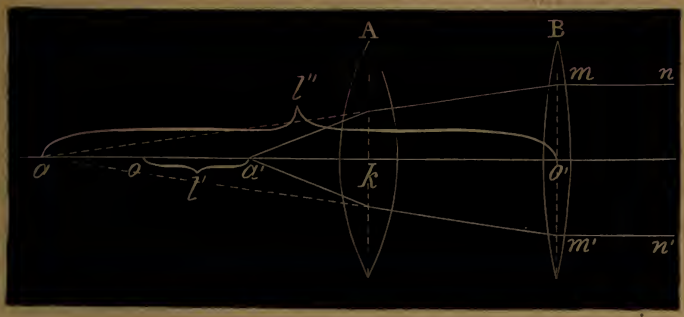
Voici la théorie de cet instrument, telle qu'elle a été exposée par M. le Dr Badal. Elle repose, comme on le verra, sur le principe développé (page 169).

Soient deux lentilles sphériques centrées sur le même axe *(fig. 48)*, l'une convergente A, de distance focale connue, qui représente la lentille du phakomètre : l'autre, convergente ou divergente B, de distance focale inconnue, figurant le verre de lunette dont on cherche le numéro.

Supposons que ces lentilles aient entre elles les rapports suivants : la seconde lentille B est au foyer postérieur *o'* de la première; les deux lentilles ont pour effet de faire converger en avant de la première, sur un écran placé en un certain point *a*, dont la distance à *o* est connue, les

rayons parallèles tels que mn, $m'n'$ partis d'un point situé à l'infini, en arrière de la seconde lentille.

Fig 48.



A, B, lentilles. — o', k, centres optiques de ces lentilles. — o' a, l'', distance focale de la lentille B. — o k, distance focale de la lentille A.

Si les rayons $mn, m'n'$ n'étaient réfractés que par la lentille B, ils iraient se réunir au foyer a de cette lentille. Ne connaissant pas la longueur focale de B, nous ignorons où est situé ce point a, mais nous savons qu'après avoir été réfractés une seconde fois par la lentille A, dont la distance focale est connue, ces rayons forment leur foyer en a'. Le point a est donc l'image du point a' par rapport à la lentille A.

Désignons par f la longueur focale de A; par o et o' les foyers antérieur et postérieur de cette lentille; par l' la distance de a au foyer antérieur; par F la longueur focale de la lentille B.

D'après les données du paragraphe précédent, il existe entre ces quantités la relation suivante :

$$f^2 = l' l''.$$

Ce qui peut s'écrire : $f^2 = l'\mathrm{F}$, d'où $\mathrm{F} = \frac{f^2}{l'}$ puisque $l'' = \mathrm{F}$. Soit N le numéro, en dioptries métriques, de la

lentille B. On sait que $F = \frac{1}{N}$; portant cette valeur de F dans l'équation précédente, on obtient finalement

$$N = \frac{l'}{f^2}.$$

Il résulte de là que, si au point *o*, foyer antérieur de la lentille du phakomètre, on place le zéro de la graduation, et si à partir de ce point, en deçà et au delà, on trace des divisions séparées les unes des autres par une distance toujours égale à f^2, et numérotées $+1, +2, +3, \ldots, -1, -2, -3$, etc. ; on aura, en désignant par *n* le numéro de la graduation occupé par le point *a'*, c'est-à-dire par l'écran, au moment où il reçoit une image parfaitement nette de l'objet visé : $N = n$.

La lentille du phakomètre a 10 centimètres de foyer, les traits de la graduation correspondant aux dioptries sont par conséquent distants les uns des autres de 1 centimètre $(0^m10)^2 = 0^m01$. Les quarts de dioptrie sont représentés par un intervalle de 2 millimètres 1/2 et par conséquent très appréciables.

Mais il est facile de voir que si la lentille inconnue B a moins de 0^m10 de foyer, l'image vient se former entre A et B, et la théorie ci-dessus cesse de recevoir son application. Il faut alors porter au dehors du tube la lentille du phakomètre, rendue mobile à cet effet, et recevoir directement sur l'écran les rayons réfractés par le seul verre B. Pour éviter cet inconvénient, on aurait pu choisir une lentille A plus réfringente, mais la graduation aurait été plus difficile.

Cet instrument présente cette particularité fort utile en pratique, *que la grandeur de l'image qui vient se former sur la plaque de verre dépoli, reste constante pour une même distance de l'objet d'épreuve, quelle que soit la lentille dont on cherche le numéro.*

Le fait est facile à constater expérimentalement. En voici la démonstration théorique :

Soit O la grandeur de l'objet qui sert d'épreuve, l sa distance au foyer postérieur (non indiqué sur la figure) de la lentille B; I l'image qui vient se former au point a, I′ l'image qui se forme au point a'.

Faisant au système de lentille du phakomètre, l'application des formules, nous avons

$$\frac{O}{I} = \frac{l}{F} \tag{1}$$

et

$$\frac{I}{I'} = \frac{l'}{F'} = \frac{F}{F'}. \tag{2}$$

Multipliant membre à membre les équations (1) et (2), il vient, après simplification :

$$I' = O\frac{F'}{l}.$$

Si OF′ et l restent invariables, I′ conservera donc la même grandeur.

88. **Réfraction à travers plusieurs milieux réfringents, séparés par des surfaces sphériques parfaitement centrées.** — Si dans la formule indiquée au paragraphe 82,

$$\frac{1}{p} = \frac{n}{p'} = \frac{(n-1)}{n},$$

nous faisons disparaître les dénominateurs, il vient

$$p'r + pnr = (n-1)pp',$$

et en divisant d'abord par $n-1$,

$$\frac{p'r}{n-1} + \frac{pnr}{n-1} = pp';$$

puis le tout par pp', nous avons

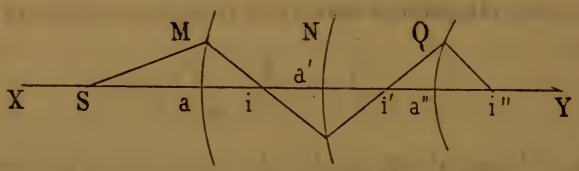
$$\frac{r}{p(n-1)} + \frac{nr}{p'(n-1)} = 1,$$

équation, qui peut être mise sous la forme,

$$1 = \frac{1}{p} \cdot \frac{r}{(n-1)} + \frac{1}{p'} \cdot \frac{nr}{(n-1)}$$

et qui va nous servir à calculer la marche d'un rayon lumineux à travers plusieurs milieux réfringents séparés par des surfaces sphériques centrées, et ensuite à calculer la longueur normale d'un œil emmétrope.

Fig. 49.



X Y, axe principal des surfaces courbes M, N et Q. — S, point lumineux.

Soit *(fig. 49)* un ensemble de surfaces courbes dont les centres sont sur une même ligne XY et un point lumineux S, situé sur cet axe.

Ce point lumineux S aura son image au point i, le point i aura son image au point i', et celui-ci au point i'' et ainsi de suite.

Les rayons de ces surfaces, que nous supposerons toutes convexes du côté X, seront r rayon de la surface M, celui de la surface N, r' et r'' celui de la surface Q, n sera l'indice de réfraction du premier milieu dans le second, n' celui du second dans le troisième, et ainsi de suite. Étant données les quantités r, r', r'' et n, n', ainsi que la distance qui sépare ces surfaces, il s'agit de savoir où se trouvera

l'image i'' de S dans le dernier milieu. Nous l'obtiendrons en nous fondant sur la formule ci-dessous :

$$1 = \frac{1}{p} \cdot \frac{r}{n-1} + \frac{1}{p'} \cdot \frac{nr}{n-1}.$$

Pour la réfraction du rayon à travers la première surface M, nous aurons

$$(1) \qquad \frac{1}{Sa} \cdot \frac{r}{(n-1)} + \frac{1}{ai} \cdot \frac{nr}{(n-1)} = 1.$$

Pour la réfraction à travers la seconde surface N,

$$(2) \qquad \frac{1}{ia'} \cdot \frac{r'}{(n'-1)} + \frac{1}{a'i'} \cdot \frac{n'r'}{(n'-1)} = 1.$$

Pour la réfraction à travers la troisième surface Q,

$$(3) \qquad \frac{1}{i'a''} \cdot \frac{r''}{n''-1} + \frac{1}{a''i''} \cdot \frac{n''r''}{n''-1} = 1.$$

Mais comme les distances qui séparent les surfaces MN et NQ sont données, on a

$$(4) \qquad ia' = aa' - ai$$

et

$$(5) \qquad i'a'' = a'a'' - a'i'.$$

Il s'agit de déterminer la valeur de Si'' qui est égale à $Sa + ai + ia' + a'i' + i'a'' + a''i''$.

De la première équation nous tirons la valeur de ai, et cette valeur obtenue, nous avons celle ia' par l'équation (4). La valeur ia' étant connue, nous tirons de l'équation (2) la valeur de $a'i'$ et celle-ci obtenue, nous calculons $i'a''$ par l'équation (5), $i'a''$ étant connu, nous calculons $a''i''$ au moyen de l'équation (3) et en additionnant toutes les valeurs nous avons celle de Si''

89. **Longueur du globe oculaire normal.** — Si nous appliquons l'ensemble de ces formules à la marche des rayons dans l'œil, le premier milieu sera l'air, le second sera l'humeur aqueuse, le troisième le cristallin et le quatrième le corps vitré. Ces milieux seront limités par trois surfaces courbes, la cornée, la face antérieure et la face postérieure du cristallin.

Supposons que les rayons qui arrivent sur la cornée soient parallèles; le premier terme de l'équation (1) (88) $\frac{1}{Sa} \cdot \frac{r}{n-1} = \infty$, il ne nous reste qu'à chercher la valeur de

$$\frac{1}{ai} \cdot \frac{nr}{n-1} = 1.$$

Le rayon de la cornée étant de 8 millimètres, et son indice de réfraction de 1,34, on a

$$ai = \frac{nr}{n-1} = \frac{8.1,34}{1,34-1} = 31,52.$$

Passons maintenant à la deuxième équation.

$$\frac{1}{ia'} \cdot \frac{r'}{n'-1} + \frac{1}{a'i'} \cdot \frac{n'r'}{n'-1} = 1.$$

Par cette équation, nous allons étudier le passage des rayons de l'humeur aqueuse à travers la face antérieure du cristallin, et posons,

r', rayon de la face antérieure du cristallin, $= 10$.

n', indice de réfraction des rayons lumineux passant de l'humeur aqueuse dans le cristallin, $= 1,08$.

$ia' = aa'$, distance de la cornée au cristallin (4 millimètres) moins ai, $= -27,52$.

En transportant ces valeurs dans la dernière équation, nous avons

$$\frac{r'}{n'-1} = 125 \qquad \text{et} \quad \frac{n'r'}{n'-1} = 135 \qquad \text{et } a'i' = 24,36.$$

La troisième équation nous permet d'étudier la marche des rayons du cristallin dans le corps vitré :

$$\frac{1}{i'a''} \cdot \frac{r''}{n''-1} + \frac{1}{a''i''} \cdot \frac{n''r''}{n''-1} = 1.$$

Posons pour valeur de

r'', rayon de la face postérieure du cristallin, $= -6$.
n'', indice de réfraction des rayons lumineux passant du cristallin dans le corps vitré, $= 0{,}92$.
$i'a'' = a'a''$, épaisseur du cristallin (4 millimèt.), $-a'i' = -20{,}36$.

En portant ces valeurs dans l'équation ci-dessus, nous avons

$$\frac{r''}{n''-1} = 75 \qquad \text{et} \quad \frac{n''r''}{n''-1} = 69;$$

d'où

$$a''i'' = 15{,}78.$$

Ainsi les rayons qui entrent parallèlement dans l'œil, ont leur foyer sur la rétine en i''. La distance ai'' est donc la longueur du globe oculaire; or, nous avons pour chacune des distances qui composent ai''

$$\left.\begin{aligned} ai &= +\,31{,}52 \\ ia' &= -\,27{,}52 \\ a'i' &= +\,24{,}36 \\ i'a'' &= -\,20{,}36 \\ a''i'' &= +\,15{,}78 \end{aligned}\right\} \text{Total : } 23{,}78.$$

Ce qui est environ la longueur du globe trouvée par Sappey, etc.

BIBLIOGRAPHIE

Badal, *Phakomètre du Dr Badal.* (*Annales d'oculistique*, t. LXXIX, p. 20, 1878.)

Helmholtz, *Optique physiologique*, p. 11 et § 9.

Landolt, *L'introduction du système métrique dans l'ophthalmologie* (*Annales d'oculistique*, t. LXXV, p. 224, 1876.)

CHAPITRE XII

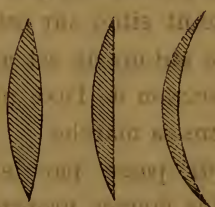
DES LENTILLES EN GÉNÉRAL

90. **Définition.** — Les lentilles sont des corps réfringents limités par des surfaces sphériques. Ces surfaces sphériques peuvent varier de courbure, il y a plusieurs espèces de lentilles.

Malgré les variantes apportées dans les rayons de courbure des deux surfaces, les lentilles se rattachent à deux groupes bien distincts; celles qui font converger les rayons, sont dites *lentilles positives* ou *convergentes;* celles qui les font diverger, sont appelées *lentilles négatives* ou *divergentes*.

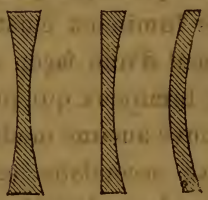
Parmi les lentilles convergentes *(fig. 50),* nous trouvons : 1° les lentilles bi-convexes, dont les deux rayons de

Fig. 50.



Lentilles convergentes.

Fig. 51.



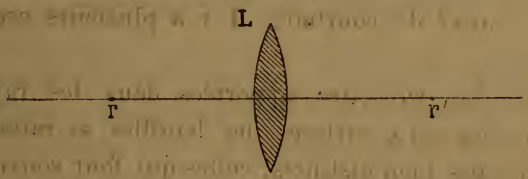
Lentilles divergentes.

courbure sont égaux; 2° les lentilles plan-convexes, dont l'une des faces est plane; 3° les lentilles convexes-concaves, dont le rayon de la face convexe est plus court que celui de la face concave.

Parmi les lentilles divergentes *(fig. 51)*, nous avons : 1° les lentilles biconcaves, dont les deux rayons de courbure sont égaux; 2° les lentilles plan-concaves, dont une des faces est plane; 3° les lentilles concaves-convexes, dont le rayon de la face concave est plus petit que celui de la face convexe.

91. **Axe principal, axe secondaire.** — L'axe principal d'une lentille est la ligne indéfinie qui passe par les centres de courbure des surfaces de cette lentille.

Fig. 52.



L, lentille. — r, r', rayons de courbure.

Ainsi soit *(fig. 52)* r le centre de courbure de la face postérieure de la lentille L, r' le centre de courbure de la face antérieure. La ligne indéfinie qui passe par les points r et r', est l'axe principal de la lentille.

L'axe principal jouit de cette propriété, que tous les rayons lumineux émanés d'un point situé sur cet axe, se groupent d'une façon symétrique autour de cet axe, et le rayon lumineux qui prend la direction de l'axe principal, n'éprouve aucune modification dans sa marche.

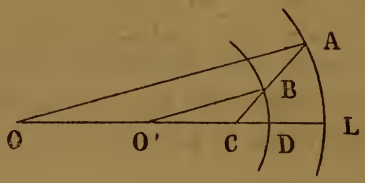
L'axe secondaire est celui qui passe par le centre optique de la lentille. Il jouit des mêmes propriétés que l'axe principal.

92. **Centre optique.** — Le centre optique d'une lentille est un point tel, qu'un rayon lumineux qui passe par ce point, ne subit aucune modification dans sa marche.

La position du centre optique est un point fixe qui dépend de la forme de la lentille.

Démontrons d'abord que c'est un point fixe, indépendant de la direction des rayons lumineux.

Fig. 53.



A L, BD, surfaces lenticulaires. — OA, OL, rayon de courbure de la face A L. O'B, O'D, rayon de courbure de la face BD.

Soient *(fig. 53)* O et O', les centres de courbure de deux surfaces lenticulaires L et D, et deux lignes parallèles OA et O'B. Joignons les points A et B et prolongeons cette droite jusqu'au point C où elle rencontre l'axe commun des deux surfaces de la lentille.

Dans le triangle ACO, la ligne O'B parallèle à OA, est parallèle à la base de ce triangle et les deux triangles BCO' et ACO sont semblables, ce qui nous donne la proportion suivante :

$$\frac{OA}{O'B} = \frac{O'C + OO'}{O'C} = 1 + \frac{OO'}{O'C}.$$

D'où, en faisant passer 1 dans le premier membre,

$$\frac{OA}{O'B} - 1 = \frac{OO'}{O'C} = \frac{OA - O'L}{O'C};$$

mais

$$OO' = OL - DL - O'D.$$

O'D est le rayon de courbure de la face postérieure de la lentille, et OA celui de la face antérieure. Désignons par r le rayon de courbure O'B, par r' celui de la face antérieure

OA, et par e l'épaisseur DL de la lentille, nous aurons,

$$\frac{r' - r}{r} = \frac{r' - e - r}{O'C},$$

d'où nous tirons

$$O'C = \frac{r(r' - e - r)}{r' - r} = \frac{rr' - er - r^2}{r' - r} = r - \frac{er}{r' - r}.$$

O'C étant indépendant de la direction des rayons OA et O'B, il en résulte que le point C est un point fixe, c'est le centre optique.

Avec les lentilles biconvexes, où les deux rayons de courbure sont égaux, mais doivent être pris de signe contraire, l'équation précédente devient

$$O'C = r - \frac{er}{r - (-r)} = r - \frac{e}{2}.$$

Le centre optique est ici au milieu de l'épaisseur de la lentille.

Pour les lentilles biconcaves, les deux rayons de courbure sont aussi égaux, mais tous deux négatifs; on a

$$O'C = r - \frac{-er}{-2r} = r + \frac{e}{2}.$$

Le centre optique est encore ici au milieu de l'épaisseur de la lentille.

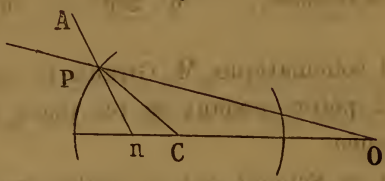
93. **Points nodaux.** — Les points nodaux présentent la particularité suivante : un rayon dirigé vers le premier point nodal passe, après réfraction, par le second point nodal, et les directions du rayon, avant et après réfraction, sont parallèles entre elles.

Étant donnés les deux points nodaux, pour tracer la marche du rayon incident et du rayon réfracté, il suffit de mener le rayon incident au premier point nodal, puis par

le second point nodal de mener une parallèle au rayon incident; cette parallèle donnera la direction du rayon réfracté.

Les points nodaux ne sont que les images virtuelles du centre optique.

Fig. 54.



C, centre optique. — *n*, point nodal.

Soit *(fig. 54)* C le centre optique d'une lentille biconvexe, et supposons un rayon lumineux partant du point C et se dirigeant vers la face antérieure de la lentille. Le rayon C P, arrivé au point P, passera dans un milieu moins réfringent, il se déviera, s'écartera de la normale O P et prendra la direction P A. Il ne se formera pas d'image réelle, mais le rayon A P, prolongé vers l'axe principal de lentille, viendra couper cet axe au point *n*, pour y former une image virtuelle du point C. Ce point *n* est ce que l'on a désigné sous le nom de point nodal antérieur.

En faisant la même construction et le même raisonnement, nous obtiendrons le point nodal postérieur, image virtuelle du point C, fournie par la face postérieure de la lentille.

Quand il s'agit de lentilles d'une certaine épaisseur, il est bon de tenir compte des points nodaux. Les calculs sont plus exacts. Néanmoins, pour la simplification des démonstrations, on suppose 1° la lentille sans épaisseur, et 2° les points nodaux fusionnés avec le centre optique.

Dans l'œil humain considéré comme ne formant qu'un système unique de réfraction, les points nodaux se trouvent dans le cristallin, plus près de la face postérieure que de la surface antérieure.

Voici la distance de ces points à la cornée, avec le nom des auteurs :

	Point nodal antérieur.	Point nodal postérieur.
Listing	7mm2420	7mm6398
Helmholtz	6 957	7 373
Knapp	6 821	7 229
Adamück et Woinow	6 506	6 875

Dans son œil schématique, M. Giraud Teulon admet la fusion des deux points nodaux et les place à 9mm30 en arrière de la cornée.

Mandelstamm et Schöler ont démontré que les points nodaux occupent des positions diverses, suivant que l'œil est myope ou hypermétrope. Dans l'œil myope, les points nodaux sont placés moins loin de la cornée que dans les yeux hypermétropes. Voici les chiffres qu'ils ont donnés :

	Point nodal antérieur.	Point nodal postérieur.
Œil myope	6mm7083	7mm0795
Œil hypermétrope	6 8248	7 2320

Sous l'influence de l'accommodation, les deux points nodaux se rapprochent de la cornée; le point nodal postérieur plus que l'antérieur. Pour l'œil myope, l'avancement de chaque point nodal est peu de chose, il est environ d'un dixième de millimètre pour l'antérieur et de deux dixièmes pour le postérieur. Dans l'œil hypermétrope, l'avancement des points nodaux est plus grand que pour l'œil normal, cet avancement est d'environ cinq dixièmes de millimètre.

On comprend très bien que, le cristallin se voussant pendant les efforts d'accommodation, les points nodaux changent de position, puisque l'agent principal de la réfraction oculaire modifie ses rayons de courbure. D'un autre côté, pour voir de près, le myope n'a pas besoin de faire de grands efforts d'accommodation, son œil étant

déjà disposé pour la vision de près. Les courbures du cristallin n'ont pas besoin de subir de grandes modifications et les points nodaux se déplacent très peu. Il n'en est pas de même de l'hypermétrope, dont l'œil, organisé pour la vision des objets à distance, doit subir de grandes modifications de courbure pour la vision des objets rapprochés. Alors le cristallin doit se vousser bien plus que dans un œil normal, et les points nodaux se déplacent d'une quantité plus grande que si l'œil avait été emmétrope.

La position du point nodal postérieur est influencée par l'emploi des lunettes. Toutes choses égales d'ailleurs, le point nodal postérieur avance quand on se sert de verres convexes, et il recule, quand on fait usage des verres concaves. De là le grossissement des objets dans le premier cas, et le phénomène inverse dans le second. Regardons à travers un verre convexe, nous verrons les objets plus gros; prenons au contraire une lentille concave, et les objets nous apparaîtront plus petits.

94. Foyer principal. — Le foyer principal d'une lentille est le lieu où cette lentille fait converger les rayons parallèles.

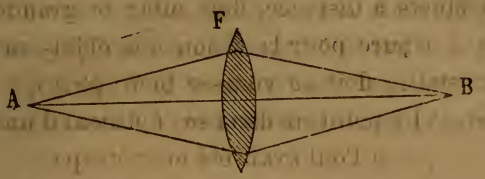
L'expérience a prouvé que tous les rayons parallèles qui arrivent sur une lentille, peuvent tous se réunir sensiblement en un point qui est le foyer principal.

Si l'on fait arriver des rayons solaires sur une lentille convergente, on remarque que les rayons émanés de la lentille viennent former une image de l'astre, à un point donné qui est le foyer principal.

La distance entre le foyer et la lentille porte le nom de distance focale principale. Plus cette distance est petite, et plus grande est la puissance réfringente de la lentille. C'est sur cette distance focale principale, qui indique la puissance de la lentille, qu'a été basé le classement des lentilles, c'est-à-dire leur numérotation.

95. **Foyers conjugués.** — Des expériences semblables aux précédentes ont démontré que des rayons partis d'un point

Fig. 55.



F, lentille. — A et B, foyers conjugués.

lumineux A *(fig. 55)* situé sur l'axe principal d'une lentille convergente F, donnaient des rayons émergents qui, après avoir traversé la lentille F, venaient se rencontrer en B. Le point B est appelé le foyer conjugué du point A. Les points A et B sont dans un rapport tel, que si le point lumineux était transporté de A en B, l'image se formerait au point A.

96. **Mesure de la longueur focale principale.** — L'expérience, avons-nous dit, a prouvé que tous les rayons parallèles qui arrivent sur une lentille, viennent tous se réunir sensiblement en un point qui est le foyer principal. Pour déterminer le foyer principal d'une lentille, il suffit donc de mesurer la distance entre la lentille et le point où se réunissent les rayons parallèles.

Cette méthode ne peut être employée que pour les lentilles convergentes.

Pour les lentilles convergentes, on peut employer les rayons solaires, et la distance entre la lentille et le point où se produit l'image solaire, est égale à la distance focale principale de la lentille. Cette opération étant fatigante à cause de l'intensité de la lumière, nous engageons l'observateur à se munir de conserves à teinte foncée.

Pour obtenir le foyer principal d'une lentille concave, il

faut une série de lentilles convexes. La lentille concave dont on veut connaître le foyer principal, est doublée d'une lentille convexe, et l'on regarde à travers cet assemblage en changeant de lentille convexe jusqu'à ce qu'on ait obtenu l'effet d'un verre de vitre. Le numéro de la lentille convexe qui a produit cet effet, indique le numéro de la lentille concave, car en désignant par f le foyer de la lentille convexe et par f' le foyer de la lentille concave, on a :

$$\frac{1}{f} - \frac{1}{f'} = \infty,$$

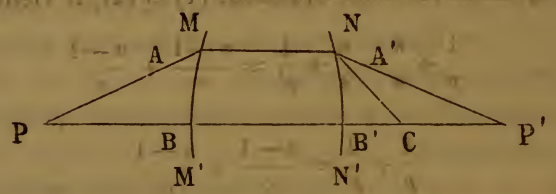
d'où

$$f = f'.$$

On peut déterminer le foyer principal à l'aide du phakomètre de Snellen ou de celui de Badal.

97. Relation entre le point lumineux et son foyer conjugué. — Soient *(fig. 56)* MM', NN' les deux faces d'une lentille, dont les rayons sont r, pour la première face MM', et r', pour la seconde NN'.

Fig. 56.



MM', NN', surfaces de la lentille. — PP', axe principal. — PA, rayon incident.

Si le rayon PA continuait sa marche dans le second milieu considéré comme indéfini, il irait couper l'axe PP' au point P'. Mais au point A' il rencontre une surface courbe NN' qu'il traverse, et comme il passe dans un autre

milieu, il se réfracte et vient couper l'axe au point C, par exemple.

Pour trouver la relation qui dans ce cas existe entre PB et B'C, étant connus les rayons de courbure r et r' et l'indice de réfraction n, considérons l'épaisseur de la lentille telle que BB' soit une valeur à négliger, et désignons PB par p, B'P' par a, B'C par p'.

Pour le rayon PA, nous avons, ainsi que cela a été démontré (82),

$$\frac{1}{p} + \frac{n}{a} = \frac{n-1}{r}. \tag{1}$$

Si nous considérons le rayon CA' comme pénétrant dans un milieu indéfini situé à gauche de NN', ce rayon, après sa réfraction au point A', prendra dans la lentille la direction A'A, ligne qui, prolongée, viendra couper l'axe au point P'. Pour ce rayon CA', nous aurons à compter négativement B'P', parce que ce rayon revient dans le premier milieu et nous aurons, en appliquant à ces cas la formule (82) modifiée dans ce sens,

$$-\frac{n}{a} + \frac{1}{p'} = \frac{n-1}{r'}. \tag{2}$$

En ajoutant les deux équations (1) et (2), il vient :

$$\frac{1}{p} + \frac{n}{a} - \frac{n}{a} + \frac{1}{p'} = \frac{n-1}{r} + \frac{n-1}{r'}$$

et

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{n-1}{r} + \frac{n-1}{r'}, \tag{3}$$

formule qui démontre que la valeur de p' ne dépend que des quantités p, r, r' et n.

Voyons maintenant comment cette formule s'applique aux différentes formes des lentilles sphériques.

Lentilles biconvexes. — Si les deux rayons de courbure

sont égaux, comme dans les lentilles biconvexes, par exemple, cette formule devient

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{2(n-1)}{r}.$$

Faisons $p = \infty$ et désignons p' par f, le foyer, nous aurons

$$\frac{1}{f} = \frac{2(n-1)}{r}$$

et

$$f = \frac{r}{2(n-1)}.$$

Si n, indice de réfraction de l'air dans le verre, était 1,5, $n - 1$ deviendrait 0,50 ou $\frac{1}{2}$. Remplacent $n - 1$ par cette valeur, nous avons

$$f = \frac{r}{2 \cdot \frac{1}{2}} = r.$$

Le foyer principal serait égal au rayon de courbure, ce qui est assez généralement admis, quoique cela ne soit pas exact, ainsi que nous le verrons au chapitre du numérotage des lentilles.

Lentilles plan-convexes. — Dans ces lentilles, l'une des faces étant plane, $r' = \infty$ et la formule devient

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{n-1}{r}.$$

Faisons $p = \infty$ et remplaçons p' par f, le foyer, et admettant que $n = \frac{3}{2}$, nous aurons

$$\frac{1}{f} = \frac{n-1}{r}$$

et

$$f = \frac{r}{n-1} = \frac{r}{\frac{3}{2} - 1} = 2r.$$

Ainsi dans les lentilles plan-convexes, le foyer est à une distance double du rayon.

Lentilles concavo-convexes. — Dans ces lentilles, l'une des faces est convexe et l'autre concave. Le rayon de la face concave est le plus grand et il est ici pris négativement, $-r'$.

Si nous faisons $p = \infty$ et si nous remplaçons p' par f, nous avons

$$f = \frac{-rr'}{(n-1)(r-r')}.$$

Dans cette équation r' étant plus grand que r, $(n-1)(r-r')$ est une valeur négative; f reste donc positif.

Lentilles divergentes. — Les calculs ci-dessus s'appliquent aux lentilles divergentes; il suffit seulement de changer le signe du rayon et de p', parce que dans ces lentilles la surface est concave au lieu d'être convexe, et que d'un autre côté p' se trouve du même côté que p; il doit donc être compté négativement.

98. **Images fournies par les lentilles.** — Les lentilles donnent des images réelles ou virtuelles. Les images réelles sont celles qu'on peut recueillir sur un écran, il n'en est pas de même des autres.

Les lentilles concaves ou négatives ne donnent que des images virtuelles; les lentilles convexes ou positives donnent des images réelles ou virtuelles.

La formule des lentilles biconvexes peut être ramenée à la forme suivante n supposé égal à 1,5 :

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}, \tag{1}$$

d'où nous tirons

$$p' = \frac{pf}{p-f}. \tag{2}$$

Si p est plus grand que f, p' est positif et l'image est réelle et située de l'autre côté de la lentille. Si p est plus petit que f, c'est-à-dire si l'objet est situé à une distance de la lentille inférieure à sa distance focale, p' est négatif. Alors l'image est virtuelle, elle est située du même côté de la lentille que l'objet. Quand l'objet occupe cette position, la formule (1) devient

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \tag{3}$$

et

$$p' = \frac{fp}{f - p}.$$

Pour les lentilles concaves ou négatives, l'image est toujours virtuelle, car f a une valeur négative, et l'équation (2) devient

$$p' = \frac{p(-f)}{p - (-f)} = \frac{-pf}{p + f}.$$

On voit par là que p' est toujours négatif quelle que soit la valeur de p, et la formule (1) devient pour les lentilles concaves

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = -\frac{1}{f}. \tag{4}$$

Quand on déplace une lentille convexe perpendiculairement à son axe principal, les images réelles se déplacent aussi dans le même sens. Mais si l'objet est formé de plusieurs points inégalement distants de la lentille, les images réelles présentent une particularité que nous allons étudier dans le paragraphe suivant.

99. **Déplacement parallactique.** — Deux objets étant situés sur l'axe principal d'une lentille ou très voisins de cet axe, si l'on déplace la lentille perpendiculairement à

son axe, les images réelles se meuvent aussi dans le même sens que la lentille, mais d'une quantité inégale. L'image de l'objet le plus rapproché de la lentille, est celle qui s'éloigne le plus de l'œil de l'observateur supposé immobile. Ce déplacement des images s'appelle le *déplacement parallactique*. Il sert à révéler les différences de niveau lors de l'examen par l'image renversée.

Le déplacement parallactique peut être utilisé pour ne pas confondre des lésions du corps vitré avec des lésions de la rétine, pour diagnostiquer la proéminence des exsudats choroïdiens et pour reconnaître les saillies et les dépressions de la papille du nerf optique. C'est plus particulièrement dans l'excavation de la papille que ce phénomène est observé.

MM. Warlomont et Testelin, Soelberg Wells et Panas pensent que la lentille agit ici comme un prisme.

« L'excavation de la papille, disent MM. Warlomont et Testelin, se reconnaît admirablement au moyen de l'ophthalmoscope binoculaire et, à son défaut, par la parallaxe, en faisant agir la lentille de l'ophthalmoscope comme un prisme, qu'on met en travers de la ligne de vision. »

« Si l'on remue la lentille objective de manière à la faire agir comme un prisme, dit Soelberg Wells, on verra apparaître une parallaxe très marquée. Tout le fond de l'excavation change de place et l'anneau scléral large peut sembler se remuer avec lui comme un cadre serait remué sur une peinture. »

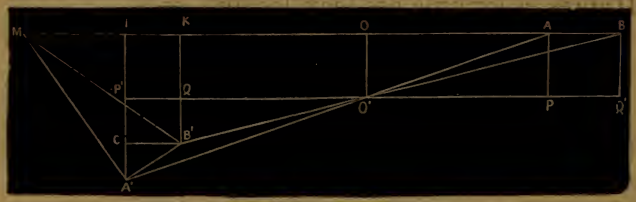
« En imprimant à la lentille objective des mouvements de latéralité, dit M. Panas, on voit, grâce à l'action prismatique du verre, les vaisseaux du fond de l'excavation se mouvoir et courir en quelque sorte plus vite que ceux des bords. »

La lentille n'agit pas comme un prisme. Pour s'en convaincre, il suffit de faire l'expérience avec un prisme. Pour nous, le déplacement parallactique tient à ce que, par

rapport à la seconde position de la lentille, les objets sont placés sur des axes secondaires inégalement distants de l'axe principal de la lentille.

Pour démontrer que la parallaxe est d'autant plus grande que l'excavation est plus prononcée, et que le déplacement de la lentille est plus grand, démonstration que nous sommes obligés de faire puisqu'elle n'a pas été faite, nous n'aurons recours qu'aux propriétés des lentilles, et nullement à celles des prismes.

Fig. 57.



A, B, objets. — I, K et A', B', images des points A B. — O, O', centre optique de la lentille. — M, œil de l'observateur.

Soit *(fig. 57)* O le centre optique de la lentille. Les points A et B, situés sur l'axe principal de la lentille forment leurs images en I et K, où l'œil M de l'observateur les voit. La lentille étant déplacée perpendiculairement à son axe, supposons que son centre optique vienne occuper le point O', alors les points A et B viennent former image en A' et B'. L'image du point A, qui est le plus rapproché de la lentille, est celle qui s'est le plus éloignée de l'œil de l'observateur, ainsi que le montre la figure.

Il s'agit de démontrer : 1° que, plus grande sera la distance A B, et plus grande sera la distance A' B'; 2° que plus le déplacement O O' de la lentille sera grand, et plus grand sera aussi l'écartement des images A' B'; 3° que l'angle B' M A', sous lequel l'observateur voit les images A' B', augmente aussi, lorsque les distances A B ou O O' augmentent.

Désignons AB par x, A′B′ par x', OA par m, OO′ par d, et par f, la distance focale de la lentille.

Dans le triangle A′B′C, nous avons

$$(1)\qquad x'^2 = \overline{A'C}^2 + \overline{B'C}^2 = (A'P' - B'Q')^2 + (O'P' - O'Q')^2.$$

Les triangles O′A′P′ et O′AP étant semblables, on a

$$\frac{A'P'}{d} = \frac{O'P'}{m}; \qquad \text{d'où} \qquad A'P' = \frac{O'P' \cdot d}{m}.$$

D'après la formule des lentilles (98), on a

$$\frac{1}{O'P'} + \frac{1}{m} = \frac{1}{f};$$

d'où

$$(2)\qquad O'P' = \frac{fm}{m - f}.$$

En remplaçant dans l'équation précédente O′P′ par sa valeur donnée par l'équation (2), on a

$$(3)\qquad A'P' = \frac{fd}{m - f};$$

Les deux triangles O′B′Q′ et O′BQ sont aussi semblables, et nous donnent les relations suivantes :

$$\frac{B'Q'}{d} = \frac{O'Q'}{m + x}; \qquad \text{d'où} \qquad B'Q' = \frac{O'Q' \cdot d}{m + x}.$$

D'après la formule des lentilles (98), on a

$$\frac{1}{O'Q'} + \frac{1}{m + x} = \frac{1}{f};$$

d'où

$$(4)\qquad O'Q' = \frac{f(m + x)}{m + x - f}.$$

En remplaçant dans l'équation précédente O'Q' par sa valeur tirée de l'équation (4), on a

$$B'Q' = \frac{fd}{m+x-f} \tag{5}$$

Si maintenant, dans l'équation (1), nous remplaçons toutes les valeurs du second membre par celles des équations (2), (3), (4) et (5), il vient successivement :

$$x'^2 = \left(\frac{fd}{m+x-f} - \frac{fd}{m+x-f}\right)^2 + \left(\frac{fm}{m-f} - \frac{f(m+x)}{m+x-f}\right)^2$$

$$= \frac{f^2d^2(m+x-f-m+f)^2}{(m-f)^2(m+x-f)^2} + \frac{f^2(m^2+mx-mf-m^2-mx+mf+fx)^2}{(m-f)^2(m+x-f)^2}$$

$$= \frac{f\,d^2x^2+f^2f^2x^2}{(m-f)^2(m+x-f)^2} = \frac{f^2x^2(f^2+d^2)}{(m-f)^2(m+x-f)^2}.$$

En extrayant la racine carrée, il vient

$$x' = \frac{fx\sqrt{f^2+d^2}}{(m-f)(m+x-f)}.$$

Au dénominateur, x est négligeable devant $m-f$. On a donc, pour la valeur de x',

$$x' = \frac{fx\sqrt{f^2+d^2}}{(m-f)^2}. \tag{6}$$

Nous voyons par cette équation (6) : 1° que si x augmente, x' augmente aussi; 2° que si d augmente, x' augmente. Ainsi donc, le déplacement des images augmente quand augmente le déplacement de la lentille, et quand les points A et B sont plus distants l'un de l'autre.

Occupons-nous maintenant de l'angle sous lequel l'observateur voit les images A' B' ou la distance x'.

Pour abréger, nous désignerons par q la distance OM, distance du point nodal de l'œil observateur, au centre

optique de la lentille, par φ l'angle A'MI, par θ l'angle B'MK, et par V l'angle A'MB', angle sous lequel l'observateur voit la distance x'.

$$\text{Tang}\varphi = \frac{A'I}{MI} = \frac{A'P' + P'I}{MI} = \frac{A'P' + P'I}{MO - O'P'}.$$

En remplaçant, dans cette équation, A'P' et O'P' par leurs valeurs (3) et (2), on a

$$(7)\quad \text{Tang}\varphi = \frac{\dfrac{fd}{m-f} + d}{q - \dfrac{fm}{m-f}} = \frac{fd + md - fd}{mq - fq - fm} = \frac{md}{mq - f(m+q)}.$$

$$\text{Tang}\theta = \frac{B'K}{MK} = \frac{B'Q' + Q'K}{OM - O'Q'}.$$

En remplaçant dans cette équation B'Q' et O'Q' par leurs valeurs (5) et (4), on a

$$(8)\quad \left\{ \begin{aligned} \text{Tang}\theta &= \frac{\dfrac{fd}{m+x-f} + d}{q - \dfrac{f(m+x)}{m+x-f}} = \frac{fd + md + dx - fd}{mq - qx - fq - fm - fx} \\ &= \frac{(m+x)d}{(m+x)q - f(m+x+q)}. \end{aligned} \right.$$

L'angle V étant la différence entre les angles φ et θ, on a pour la tangente de cet angle

$$\text{TangV} = \frac{\text{tang}\varphi - \text{tang}\theta}{1 + \text{tang}\varphi . \text{tang}\theta}.$$

En remplaçant dans cette équation tang φ et tang θ par leurs valeurs (7) et (8), et en effectuant les calculs, nous arrivons à l'équation suivante :

$$(9)\qquad \text{TangV} = \frac{fdqx}{[mq - f(m+q)]^2}.$$

Dans cette équation (9), tout est constant, sauf d et x, et nous voyons que tang V augmente, quand d ou x augmentent. Il résulte de là que la parallaxe grandit au fur et à mesure qu'on déplace la lentille, et que cette parallaxe est d'autant plus grande que les points A et B sont plus éloignés l'un de l'autre.

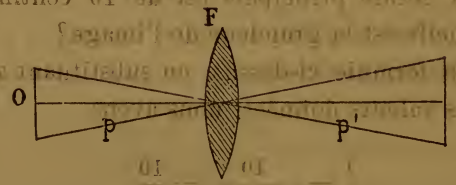
100. Relation entre la grandeur de l'objet et son image. — Les lentilles convexes donnent des images réelles ou virtuelles : des images réelles et renversées, lorsque l'image est placée à une distance de la lentille supérieure à la distance focale principale, et des images virtuelles et droites, quand cette distance est inférieure à la longueur focale principale de la lentille.

Les lentilles concaves ne donnent que des images virtuelles et droites, quelle que soit la distance de l'objet à la lentille.

Examinons, pour chacun de ces cas, la relation entre la grandeur de l'objet et celle de son image.

PREMIER CAS. — *Images réelles fournies par les lentilles convergentes.*

Fig. 58.



O, objet. — I, image. — F, lentille. — p, distance de l'objet à la lentille. p', distance de l'image à la lentille.

Soit *(fig. 58)* O un objet situé sur l'axe principal OI d'une lentille F, et à une distance p de la lentille, supérieure à la distance focale principale de cette lentille.

A cause de la similitude des triangles, on a

$$\frac{I}{O} = \frac{p'}{p}.$$

En remplaçant p ou p' par leurs valeurs tirées de l'équation (1) du paragraphe 98, on a, en remplaçant p,

$$\frac{I}{O} = \frac{p' - f}{f},$$

et en remplaçant p',

$$\frac{I}{O} = \frac{f}{p - f}.$$

Telle est la relation entre la grandeur de l'objet et son image réelle et renversée fournie par la lentille.

On voit par cette formule que lorsque $p = 2f$, l'image a une grandeur égale à celle de l'objet. Cette particularité a été utilisée par Snellen pour la construction de son phakomètre.

Dans le cas contraire, l'image devient d'autant plus petite que p est plus grand, et *vice versâ*. L'image atteint son maximum quand p est égal à f.

Exemple. — Un objet ayant 4 centimètres de hauteur, est placé à 30 centimètres d'une lentille convergente dont la longueur focale principale est de 10 centimètres. On demande quelle est la grandeur de l'image?

D'après la formule ci-dessus, en substituant aux lettres O, p et f, les valeurs données, nous avons

$$\frac{I}{4} = \frac{10}{30 - 10} = \frac{10}{20}.$$

D'où nous tirons, pour la valeur de I, ou la grandeur de l'image, I = 2 centimètres.

Exemple. — Un objet ayant 2 centimètres d'étendue linéaire, est placé devant une lentille convergente dont la

longueur focale principale est de 5 centimètres. On demande quelle est la grandeur de l'image, sachant que cette image est située à 20 centimètres de la lentille?

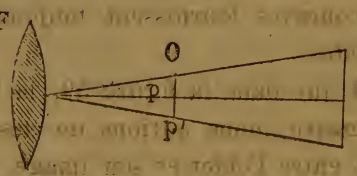
Dans la formule ci-dessus, en substituant aux lettres O, p' et f, les valeurs données, nous avons

$$\frac{I}{2} = \frac{20 - 5}{5} = 3.$$

D'où nous tirons pour la valeur de I, ou la grandeur de l'image, I = 6 centimètres.

Deuxième cas. — *Images virtuelles fournies par les lentilles convergentes.*

Fig. 59.



F, lentille convergente. — O, objet. — I, image. — p, distance de l'objet à la lentille. — p', distance de l'image à la lentille.

En désignant *(fig. 59)* par O l'objet, par I l'image, par p et p' les distances de l'objet et de l'image à la lentille, nous avons, à cause de la similitude des triangles,

$$\frac{I}{O} = \frac{p'}{p}.$$

En remplaçant p ou p' par leurs valeurs tirées de l'équation (3) du paragraphe 98, nous avons, en remplaçant p,

$$\frac{I}{O} = 1 + \frac{p'}{f},$$

et en remplaçant p',

$$\frac{I}{O} = \frac{f}{f - p}.$$

Telle est la relation indiquée dans tous les traités de physique entre l'objet et son image virtuelle droite. Cette formule serait exacte, si le centre optique de l'œil coïncidait avec le centre optique de la lentille. Mais il est loin d'en être ainsi. Quand, pour obtenir une image virtuelle et droite, nous employons une loupe, notre œil est placé à une certaine distance de la lentille et il n'y a nulle coïncidence entre les deux centres optiques, celui de l'œil et celui de la loupe.

Nous verrons, au paragraphe du grossissement fourni par la loupe, toutes les formules qui ont été données.

Troisième cas. — *Images virtuelles fournies par les lentilles concaves.*

Les images concaves fournissent toujours des images virtuelles et droites.

En admettant que dans la figure 59, la lentille F soit une lentille concave, nous aurions un dessin semblable pour le rapport entre l'objet et son image. La similitude des triangles nous donnerait le rapport suivant :

$$\frac{I}{O} = \frac{p'}{p}.$$

En remplaçant p ou p' par leurs valeurs tirées de l'équation (4) du paragraphe 98, nous aurons, en remplaçant p,

$$\frac{I}{O} = \frac{f - p'}{f},$$

et en remplaçant p',

$$\frac{I}{O} = \frac{f}{p + f}.$$

On voit, par cette seconde équation, que l'image est toujours plus petite que l'objet, car $p + f$ est toujours plus grand que f.

Exemple. — Un objet ayant 6 centimètres d'étendue, est placé à 20 centimètres d'une lentille concave dont la longueur focale principale est de 10 centimètres. On demande quel est le diamètre de l'image?

D'après la formule ci-dessus et en substituant aux lettres O, f et p, les valeurs données, nous avons

$$\frac{I}{6} = \frac{10}{20 + 10} = \frac{1}{3}.$$

D'où nous tirons 2 centimètres pour la valeur de l'étendue de l'image I.

101. **Grossissement de la loupe.** — Dans les calculs relatifs à la grandeur des images virtuelles, fournies par les lentilles convexes, les traités de physique n'ont tenu aucun compte de la position de l'œil et de sa réfraction.

Pour calculer le grossissement de la loupe, plusieurs formules ont été données, ce qui prouve la difficulté de bien préciser la valeur de ce grossissement. Voici les formules que nous avons trouvées et que nous nous bornerons à reproduire sans en faire la démonstration.

Formule de Martin : D, désignant la distance minimum de la vision distincte; φ, le foyer de la lentille; d, la distance de l'œil à la loupe.

$$\frac{D + \varphi - d}{\varphi}.$$

Formule de Wundt : f, désignant la forme de la lentille; *e,* la distance de l'œil à la loupe; D, la distance de la vision distincte.

$$\frac{D - e}{f} + 1.$$

Formule de Panum : F, désignant le foyer de la lentille;

α, la distance de l'objet à la loupe; ω, la distance de l'œil à la loupe.

$$\frac{1}{1-\frac{\alpha\omega}{F(\omega+\alpha)}}.$$

Formule de Hugo Gerold : f, désignant le foyer de la lentille; s, la distance de la vision distincte, et d, la distance de l'œil à la loupe.

$$\frac{f+s-d}{f}.$$

Formule de M. Gavarret : φ, désignant le foyer de la lentille; d, la distance minimum de la vision distincte; x, la distance de l'œil à la loupe.

$$1+\frac{d-x}{\varphi}.$$

Formule de Verdet : Δ, désignant la distance de la vision distincte; f, le foyer de la lentille, et d, la distance de l'œil à la loupe.

$$\frac{1}{\Delta}+\frac{1}{f}-\frac{d}{\Delta f}.$$

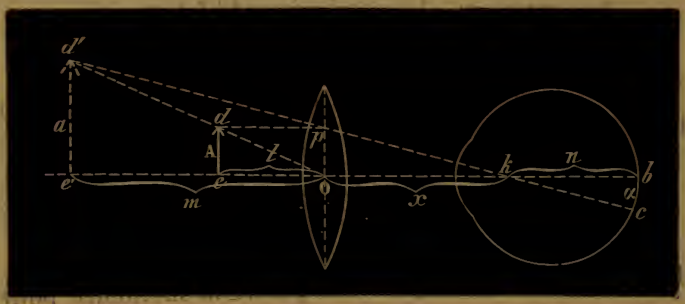
Toutes ces formules, sauf celles de Panum et de Verdet, peuvent être mises sous la même forme, car elles sont semblables. Martin, Wundt, Hugo Gerold et Gavarret sont arrivés au même résultat, par des démonstrations différentes. De toutes ces démonstrations, la plus ardue est celle de Martin, et la plus simple, celle de M. Gavarret.

Dans toutes ces formules, il faut entendre par distance de l'œil à la lentille, la distance du point nodal de l'œil au centre optique de la lentille. Quant à la distance de la vision distincte, il ne faut pas prendre ces mots à la lettre, il faut entendre la distance à laquelle l'observateur rapporte

l'image; c'est la distance de projection, ainsi que l'ont fait observer Verdet et M. Landolt.

Pour discuter tous les cas qui peuvent se présenter, nous avons pensé qu'il serait plus convenable de rechercher une nouvelle formule. Nous avons pris pour point de départ la grandeur de l'image rétinienne. Cette manière d'envisager la question nous paraît la meilleure. Voici notre démonstration.

Fig. 60.



A, *e d*, objet. — *e o*, *l*, distance de l'objet au centre optique de la lentille dont le foyer est *f*. — *o k*, *x*, distance de la lentille au point nodal *k* de l'œil. — *n*, distance du point nodal à la rétine. — *e' d'*, *a*, image de l'objet. — *e' o*, *m*, sa distance à la lentille. — *b c*, *a*, image sur la rétine.

Dans la figure 60, $m + x$ désigne la distance de la vision distincte v, ou la distance à laquelle l'œil projette l'image a. D'après la formule des lentilles, nous avons

$$\frac{1}{l} - \frac{1}{v-x} = \frac{1}{f}, \quad \text{d'où} \quad \frac{v-x}{l} = 1 + \frac{v-x}{f}.$$

D'un autre côté, le rapport entre l'objet A et son image virtuelle a, est le suivant :

$$\frac{a}{A} = \frac{v-x}{l} = 1 + \frac{v-x}{f};$$

d'où

$$a = A\left(1 + \frac{v-x}{f}\right). \tag{1}$$

L'angle $d'ke'$, sous lequel l'œil voit l'image virtuelle, est

(2) $$\text{Tang}\, d'ke' = \frac{a}{v},$$

et aussi

(3) $$= \frac{x}{n}.$$

En remplaçant, dans l'équation (2), a par sa valeur (1), il vient

$$\text{Tang}\, d'ke' = \frac{A\left(1 + \frac{v-x}{f}\right)}{v} = \frac{A(f+v-x)}{fv}.$$

Dans cette équation, en remplaçant tang $d'ké'$ par sa valeur (3), il vient

$$\alpha = \frac{An(f+v-x)}{fv}.$$

Telle est l'équation qui nous paraît la meilleure pour résoudre tous les cas que nous allons aborder. Pour nous, le grossissement sera donné par la grandeur de l'image rétinienne.

Premier cas. — *La distance de l'œil à la lentille varie, les autres quantités restant constantes.*

L'accommodation étant nulle, toutes les formules, sauf celle de Panum, démontrent que le grossissement augmente, lorsque l'œil se rapproche de la lentille. Pour s'en convaincre, il suffit de jeter un coup d'œil sur toutes ces formules. Ainsi, dans la nôtre, si x augmente, α diminue.

La formule de Panum donne au contraire un résultat diamétralement opposé, car elle démontre que le grossissement est d'autant plus grand que l'œil est plus éloigné de la lentille.

Comme cette vérité ne ressort pas clairement de l'examen

de cette formule, nous allons la présenter sous une autre forme; en un mot, la transformer de manière à rendre la démonstration plus facile.

En désignant le grossissement par G, la formule de Panum peut être mise sous la forme suivante :

$$\frac{G}{1} = \frac{F(\omega + \alpha)}{F(\omega + \alpha) - \alpha\omega},$$

ou, en renversant les termes pour la facilité des calculs,

$$\frac{1}{G} = \frac{F(\omega + \alpha) - \alpha\omega}{F(\omega + \alpha)} = 1 - \frac{\alpha\omega}{F(\omega + \alpha)} = 1 - \frac{\alpha\omega}{F\omega + F\alpha}.$$

Si nous divisons par ω, nous obtiendrons

$$\frac{1}{G} = 1 - \frac{\alpha}{F + \frac{F\alpha}{\omega}}.$$

Considérons maintenant cette équation et faisons varier ω, qui représente la distance de l'œil à la loupe. Si ω grandit, la fraction $\frac{F\alpha}{\omega}$ diminue, et comme cette fraction s'ajoute à F, la somme $F + \frac{F\alpha}{\omega}$ diminue. Si le dénominateur $F + \frac{F\alpha}{\omega}$ diminue, la fraction $\frac{\alpha}{F + \frac{F\alpha}{\omega}}$ augmente, et comme cette fraction se retranche de 1, plus elle sera grande et plus le terme $\frac{1}{G}$ sera petit. Or, ce terme ne peut devenir plus petit qu'à la condition que G augmente.

Il résulte de cette formule que le grossissement pe l'image augmente lorsque l'œil s'éloigne de la lentille, ce qui est contredit par l'expérience, du moins par les expériences auxquelles nous nous sommes livrés sur des malades à l'accommodation paralysée par l'atropine.

Deuxième cas. — *La distance de l'œil à la lentille varie et l'accommodation s'exerce.*

Des expériences auxquelles je me suis livré, il m'a toujours paru que le grossissement était constant, lorsque l'axe visuel coïncidait avec l'axe principal de la lentille, mais j'ai remarqué que le champ visuel diminuait au fur et à mesure que l'œil s'éloignait de la lentille.

Cette proposition peut être démontrée par les formules de Martin, Wundt, etc. Prenons, par exemple, la formule de M. Gavarret.

Pour l'œil placé à une distance x de la lentille, le grossissement sera donné par la formule de M. Gavarret:

$$1 + \frac{d - x}{\varphi}.$$

Éloignons maintenant notre œil d'une quantité m. Dans ce cas, comparé au précédent, notre œil sera distant de la lentille d'une quantité $x + m$. Mais comme, dans cette position, nous voyons encore l'image, la distance de notre vision distincte, c'est-à-dire la distance entre l'image et l'œil, devient $d + m$, de sorte que nous avons, pour le grossissement de cette seconde expérience,

$$1 + \frac{(d + m) - (x + m)}{\varphi} = 1 + \frac{(d - x) + (m - m)}{\varphi} = 1 + \frac{d - x}{\varphi},$$

c'est-à-dire le même grossissement que dans la première expérience, absolument comme si nous n'avions pas éloigné notre œil de la lentille. Cela tient à ce que notre accommodation s'est relâchée d'une quantité égale à celle de l'éloignement de l'œil à la lentille.

Cette interprétation est-elle exacte? Oui, si nous nous en rapportons à nos sensations, mais elle est contredite par la formule de Verdet et par la nôtre. Nous pensons donc qu'il y a lieu de reprendre la question pour l'élucider.

Troisième cas. — *Le point nodal de l'œil coïncide avec le foyer de la lentille.*

Dans ce cas, le grossissement est constant, quelle que soit la distance de la vision distincte et l'éloignement de l'objet à la lentille, à la condition que l'accommodation ne s'exerce pas.

Cette particularité, clairement exprimée par Hugo Gerold, avait passé inaperçue, et elle a été utilisée par M. Badal, qui en a fait la base de son optomètre.

La formule de Panum démontre que le grossissement augmente au fur et à mesure que l'objet s'éloigne de la lentille, mais la formule de Verdet, ainsi que la nôtre, démontrent le contraire.

Dans la formule de Verdet, si l'on fait $f = d$, le grossissement devient $\frac{1}{f}$, c'est-à-dire constant.

Si dans notre formule, $f = x$, le grossissement devient

$$\alpha = \frac{A\,n}{f},$$

ce qui démontre que le grossissement est constant quelle que soit la distance de la vision distincte, etc., pourvu que l'accommodation n'intervienne pas, car alors n, n'étant plus constant, il en serait de même du grossissement.

Quatrième cas. — *Influence de l'amétropie sur le grossissement des images.*

L'influence de l'amétropie sur le grossissement des images n'est nullement contestée, mais il y a divergence d'opinion, quand il s'agit de déterminer en quel sens s'exerce cette influence.

« Le grossissement d'une loupe déterminée, dit M. Gavarret, est donc plus fort pour un presbyte que pour un emmétrope, et pour un emmétrope que pour un myope. »

Dans leur traité de physique, MM. Drion et Fernet ont

adopté cette opinion. « On voit, disent-ils, que le grossissement augmente avec la valeur de la distance minimum de la vision distincte. Il est donc plus grand, avec une même loupe, pour un presbyte que pour un myope. »

Verdet est d'une opinion contraire. Il prétend que l'œil myope obtient un plus grand grossissement.

Pour cette question, de pure curiosité théorique et sans intérêt ni application pratique, nous nous rattachons à l'opinion de Verdet. En effet, notre formule peut être mise sous la forme suivante :

$$\alpha = \frac{An}{f} + \frac{An(f-x)}{fv}.$$

Considérons un œil myope. Dans cet œil, la distance du point nodal à la rétine est plus grande que dans un œil normal, et *à fortiori*, plus grande que dans un œil hypermétrope; d'un autre côté, la distance de la vision distincte est moins grande. Ainsi dans notre formule, appliquée à un œil myope, n augmente et v diminue, le grossissement augmente donc. Ce serait l'inverse pour un œil hypermétrope.

Cinquième cas. — *Influence de la distance focale de la lentille.*

Toutes les formules démontrent que le grossissement augmente d'autant plus que la lentille a un foyer plus court. Cela ne ressort clairement de notre formule, que lorsqu'elle est mise sous la forme suivante :

$$\alpha = \frac{An}{v} + \frac{An(v-x)}{fv}.$$

On voit alors que α augmente, quand f diminue.

Sixième cas. — *Influence des variations de l'accommodation.*

Notre formule seule permet d'étudier cette influence. Sous l'influence de l'accommodation, le point nodal pos-

térieur de l'œil se déplace. Il avance pour la vision des objets rapprochés, il s'éloigne dans le cas contraire. Dans notre formule, n, représentant la distance du point nodal à la rétine, devient une quantité variable. Si n grandit, l'image grandit. Ce phénomène se présente avec l'optomètre de Badal, quand le malade, soumis à l'examen, modifie son accommodation. Si le malade fait intervenir brusquement son accommodation, l'image lui paraît plus grande. Au contraire, s'il relâche tout à coup son accommodation, l'image lui paraît devenir plus petite.

102. Phakomètre de Snellen. — Le phakomètre, mot dérivé de φακὸς, *lentille,* et μέτρον, *mesure,* est un instrument destiné à mesurer très exactement la distance focale principale d'une lentille convexe.

La construction de cet instrument repose sur la relation qui existe entre la grandeur de l'objet et son image réelle, fournie par la lentille. Nous avons vu que cette relation était donnée par la formule suivante :

$$\frac{I}{O} = \frac{p' - f}{f}.$$

Si, dans cette équation, nous admettons que l'image est aussi grande que l'objet, nous avons

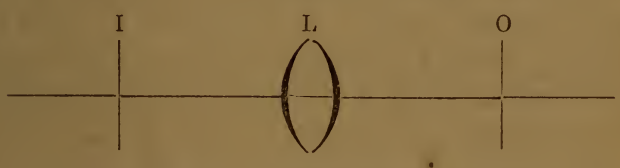
$$1 = \frac{p' - f}{f} : \qquad \text{d'où} \qquad 2f = p',$$

c'est-à-dire que le point où se forme l'image réelle est à une distance de la lentille égale au double de son foyer. Tel est le principe qui sert de base au phakomètre de Silbermann et de Snellen.

Celui de Silbermann est décrit par Verdet; quant à celui de Snellen, il se compose *(fig. 61)* d'une plaque O sur laquelle est dessiné un objet et d'une plaque I en verre

dépoli sur laquelle se trouve gravée l'image de l'objet et d'une grandeur égale. La lentille L, dont on veut connaître le foyer, est placée au milieu, et à l'aide de deux ressorts, les plaques O et I peuvent être éloignées de la lentille, mais toujours d'une quantité égale. L'observateur fixe la plaque I et meut les plaques à l'aide des ressorts, jusqu'à ce que l'image de la plaque O, fournie par la lentille L, coïncide exactement avec celle qui est gravée sur la plaque I. La distance entre la plaque I et la lentille L, indiquée sur une échelle graduée que porte l'instrument, donne le double de la distance focale principale de la lentille observée.

Fig. 61.



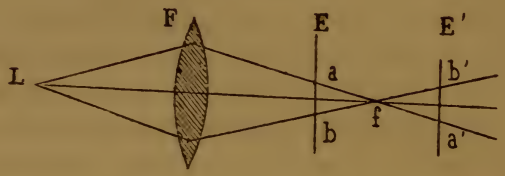
L, lentille. — O, objet. — I, écran destiné à recevoir l'image.

Cet instrument sert, dans la pratique, à déterminer les numéros des lunettes contenues dans les boîtes de collection, ainsi que les numéros des lunettes dont se servent les malades. L'instrument de Badal, permettant la mesure des verres concaves, est plus avantageux.

103. **Cercles de diffusion.** — Étant donnés un point lumineux et une lentille convexe, il se forme une image du point lumineux à un point qui est le foyer conjugué. Si pour recevoir cette image, on place un écran en avant ou en arrière du foyer conjugué, il se formera sur cet écran un cercle de diffusion. Ces cercles de diffusion se forment toujours sur la rétine d'un œil, qui n'est pas accommodé pour les rayons qui lui viennent d'un point donné.

Soient *(fig. 62)* une lentille convergente F, et un point lumineux L, dont le foyer conjugué est en *f*. Si nous plaçons un écran en avant ou en arrière du foyer, en E ou E′, nous aurons les cercles de diffusion *ab*, *a′ b′*.

Fig. 62.



L, point lumineux. — F, lentille. — *f*, foyer conjugué. — E, E′, écrans.

Les rayons lumineux partis de L constituent un cône, dont le sommet est en L et la base en F. Après avoir traversé la lentille F, ils forment encore un cône lumineux, dont le sommet est en *f*. L'écran E, étant perpendiculaire à l'axe principal de la lentille, est donc un plan qui coupe le cône lumineux parallèlement à sa base, et cette section *ab* est un cercle; de là le nom de cercle de diffusion.

Après leur point de concours au point *f*, les rayons lumineux divergent de nouveau, pour former un autre cône. Par le même raison que précédemment, l'écran E′ coupe ce cône et *a′ b′* est encore un cercle.

Des considérations qui précèdent, il résulte qu'il y a toujours un cercle de diffusion, lorsque l'écran destiné à recevoir l'image ne coïncide pas avec le foyer conjugué de l'objet. Ces cercles de diffusion se produisent sur la rétine des myopes et des hypermétropes. Chez le myope, la rétine, représentée ici dans la figure par l'écran E′, est placée en arrière du foyer des rayons. Chez l'hypermétrope, la rétine, ici E, est placée en avant de ce foyer.

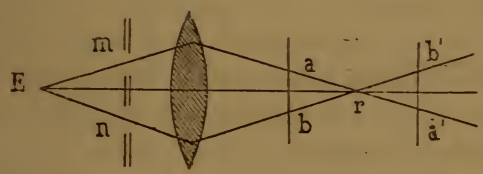
L'étude des cercles de diffusion est féconde en applications pratiques. Le diamètre de la pupille et la réfraction

de l'œil peuvent être déterminés par cette étude, comme nous allons le voir.

104. Optomètre de Scheiner. — L'optomètre de Scheiner, destiné à mesurer la puissance de l'accommodation, bien plus que celle de la réfraction de l'œil, est basé sur le principe des cercles de diffusion sur la rétine.

Cet optomètre, que tout le monde peut faire avec une simple carte de visite, percée de deux trous d'épingle, à une distance inférieure au diamètre de la pupille, constitue un écran, présentant deux ouvertures très petites et très rapprochées. L'écran est placé au-devant de l'œil qui fixe une épingle. Si l'œil est accommodé pour la distance à laquelle se trouve l'épingle, l'œil observé n'aura la sensation que d'un seul objet; dans le cas contraire, l'épingle sera vue double. Voici comment les choses se passent :

Fig. 63.



E, objet. — *r*, son foyer conjugué. — *ab*, *a'b'*, cercles de diffusion. *m*, *n*, ouvertures de l'écran.

Dans la figure 63, où nous représentons l'œil par une lentille, on remarque que si la rétine est au point *r*, foyer conjugué de l'épingle E, il ne se forme qu'une seule image; il n'y a dès lors qu'une sensation unique : l'épingle est vue simple. C'est ce qui arrivera toutes les fois que l'œil pourra, soit par sa réfraction, soit au moyen de son accommodation, faire que le foyer conjugué de E soit sur sa rétine.

Dans le cas contraire, si la rétine est en avant du foyer r, comme chez l'hypermétrope, il se formera sur la rétine deux images a et b, l'épingle sera vue double. Il en sera de même si la rétine est en arrière du foyer r, comme chez le myope. Les deux images a' et b' donneront la sensation de deux épingles.

Il existe entre ces deux cas une particularité importante à signaler. Si l'on oblitère l'orifice supérieur m de l'écran, on empêche le rayon lumineux de former les images a et a', dès lors on supprime la vision double, et les malades examinés donnent des réponses qui paraissent contradictoires. Le myope prétend que c'est l'image supérieure qui a disparu, et, pour l'hypermétrope, c'est le contraire. Ceci s'explique par la position constamment renversée des images sur la rétine. Pour le myope, l'image a disparu au point a', qui est le point inférieur, et cette sensation, qu'il projetait dans le champ visuel à la partie supérieure, n'existe plus. Pour l'hypermétrope, l'image a, en haut sur la rétine, était projetée dans le champ visuel à la partie inférieure, et la suppression de l'image a a amené la perte de la sensation de la seconde épingle qui se formait à la partie inférieure du champ visuel.

Il résulte de là que l'épingle est toujours vue double lorsque l'œil, par sa réfraction ou sa puissance d'accommodation, ne peut faire que la rétine soit placée au foyer conjugué de l'épingle fixée.

D'un autre côté, lorsque l'épingle est vue double, si l'on bouche un des orifices de l'écran, l'orifice supérieur, par exemple, le malade n'a plus que la sensation d'une seule épingle. L'hypermétrope et le myope donneront alors, sur la situation de l'épingle qui a disparu, des réponses complètement opposées. L'hypermétrope déclarera que c'est l'épingle d'en bas qui a disparu, et le myope tiendra un langage contraire.

On peut donc conclure de là, que lorsque l'épingle est

vue double, et que l'on fait disparaître une des images en bouchant un des orifices de l'écran, si l'image qui a disparu est du côté opposé au trou bouché, la rétine est en avant du foyer conjugué et l'œil est hypermétrope. Si l'image qui a disparu était située du même côté que le trou bouché, la rétine est placée en arrière du foyer conjugué, et l'œil est myope.

105. **Optomètre de Stampfer.** — L'optomètre de Stampfer *(fig. 64)* est basé sur le même principe que celui de Scheiner. Il se compose de deux tubes rentrants. Le premier est muni à son extrémité, qui doit être placée au devant de l'œil, d'une lentille convexe positive L, de 5 pouces ou 8 dioptries métriques.

Fig. 64.

L, lentille convexe. — B, plaque en verre dépoli. — A, plaque percée de deux fentes.

Le tube mobile contient deux plaques A et B, distantes d'environ 45 millimètres, et fixes l'une par rapport à l'autre. La première plaque A, est percée de deux fentes. Chacune de ces fentes a environ 6 à 7 millimètres de largeur, et les deux fentes sont éloignées l'une de l'autre, d'environ 4 millimètres et demi. La plaque B, recouverte d'un verre dépoli, n'a qu'une seule fente.

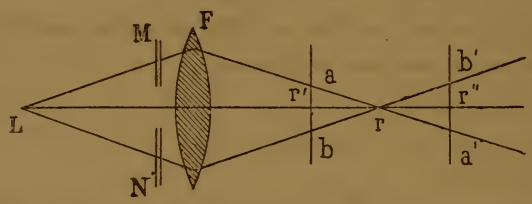
Par l'éloignement ou le rapprochement du tube mobile, on cherche le point où l'œil n'a la sensation que d'une seule fente ou d'une seule bande claire. Comme on le voit, c'est le même principe que celui de l'optomètre de Scheiner, compliqué par la présence d'une lentille.

106. **Lunette sténopéique.** — A l'inverse de l'optomètre de Scheiner, qui a pour but de rendre sensibles les cercles de diffusion sur la rétine, lorsque cet organe n'est pas situé au foyer des rayons, la lunette sténopéique a au contraire pour but de supprimer les cercles de diffusion.

La lunette sténopéique consiste en un écran perforé d'un trou, au travers duquel le malade regarde.

Comment la lunette sténopéique diminue-t-elle les cercles de diffusion? L'examen de la figure 65 va nous l'apprendre.

Fig. 65



MN, lunette sténopéique. — F, lentille. — L, point lumineux. — r, r', r'', positions diverses de la rétine.

Sans l'écran MN, percé à son centre d'un petit trou, les rayons lumineux partis de L formeraient des cercles de diffusion, *ab*, *a' b'*; mais en plaçant devant l'œil un écran muni d'un orifice aussi petit que possible, nous éliminons la plupart des rayons excentriques, pour ne laisser passer que le rayon central, et le cercle de diffusion est si petit soit en r', soit en r'', que ces images peuvent être considérées comme égales à celle qui se formerait sur la rétine r, placée au foyer conjugué du point L.

La lunette sténopéique, en supprimant les cercles de diffusion, devient dans certains cas un moyen de diagnostic.

Un malade se plaint de troubles de la vision. Ces troubles sont-ils le résultat d'une anomalie de la réfraction ou d'une lésion matérielle? La lunette sténopéique que l'on peut se procurer facilement, en faisant un trou d'épingle à une

carte de visite, permettra de trancher cette question. Si les troubles sont dus à une anomalie de la réfraction, la lunette sténopéique, en faisant disparaître les cercles de diffusion, améliorera la vision. Dans le cas contraire, la vision ne sera pas améliorée.

La lunette sténopéique permet aussi de calmer l'imagination des malades qui, ayant par mégarde une mydriase atropique, se figurent que leur œil est irrévocablement perdu, paralysé, etc. L'emploi de la lunette sténopéique, en leur procurant la vision, permet de les rassurer facilement sur l'heureuse issue de leur maladie.

107. Mesure des cercles de diffusion et du diamètre de la pupille. — La manière de mesurer les cercles de diffusion a été indiquée par Listing. Le procédé indiqué par M. Badal nous ayant paru le plus simple, c'est le seul que nous décrirons.

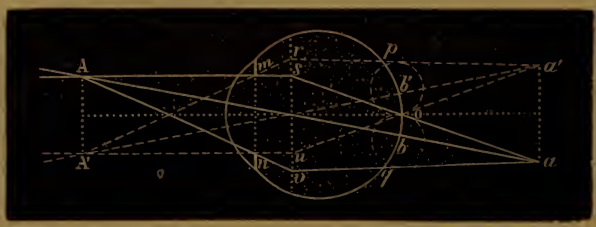
Toutes les fois que deux points lumineux dessinent sur la rétine des cercles de diffusion qui se touchent, le diamètre de la pupille est précisément égal à l'écartement de ces points lumineux, quelle que soit leur distance à l'œil. Tel est le principe dont M. Badal a donné le premier une démonstration simple et pratique.

Les deux points lumineux A et A′ étant mobiles *(fig. 66)*, il y aura une position où ils détermineront sur la rétine deux cercles de diffusion tangents en *o*.

Si l'œil est emmétrope, *o*, point commun aux deux cercles, est placé au foyer de l'œil. Un rayon réfracté *soa*, passant par le point *o*, a du être parallèle à l'axe avant son entrée dans l'œil, et ce rayon ayant affleuré le bord *m* de la pupille, il en résulte que si l'on joint le point *s* au point *m*, et que par le point *m*, on mène une parallèle *m*A à l'axe, on aura une ligne *m*A sur laquelle doit se trouver le foyer conjugué de *a*. En joignant le point *a* au point nodal, et en prolongeant cette ligne jusqu'à sa rencontre avec la

ligne mA, nous aurons, au point d'intersection A de ces deux lignes, la position de l'image du point a. Par le même raisonnement, nous obtiendrons la position A′, image de a'.

Fig. 66.



A, A′, points lumineux situés dans un plan perpendiculaire à l'axe visuel. — a, a', points de convergence des rayons réfractés. — op, oq, cercles de diffusion sur la rétine. — $rsur$, trace de projection d'un plan perpendiculaire à l'axe visuel et passant par le point nodal de l'œil. — mn, ouverture pupillaire.

Par la construction que nous avons indiquée, on voit que mnAA′ est un rectangle et que par suite AA′ est égal à mn, c'est-à-dire que l'écartement des deux points lumineux est égal au diamètre de la pupille, et cela, quelle que soit la distance de ces points lumineux à l'œil.

Désignons par a l'écartement entre les deux points lumineux AA′, par g leur distance au point nodal, par ϱ la distance de ce point nodal à la rétine, et par B le diamètre des cercles de diffusion, diamètre qui est ici égal à la somme des deux rayons de chaque cercle, bb'. Comme les lignes Aa et A′a' forment, par leur intersection au niveau du point nodal, deux triangles semblables, nous avons

$$\frac{B}{a} = \frac{\varrho}{g}, \qquad \text{d'où} \qquad B = a\,\frac{\varrho}{g}.$$

Cette équation démontre, ainsi que le fait observer M. Badal, que le diamètre des cercles de diffusion est égal à l'écartement des deux points lumineux, multiplié par une fraction dont le numérateur est la distance du point nodal

à la rétine et le dénominateur, la distance des points lumineux à l'œil.

Nous avons donné ailleurs la position des points nodaux suivant la réfraction de l'œil.

BIBLIOGRAPHIE

Badal, *Mesure du diamètre de la pupille et des cercles de diffusion.* (*Annales d'oculistique*, t. LXXV, p. 290, 1876.)

Gavarret, *Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales.* (Art. *Loupe.*)

Hugo Gerold, *Die ophthalmologische Physik*, t. II, p. 207. Wien, 1870.

Martin, *Interprétation géométrique et continuation de la théorie des lentilles de Gauss.* (*Annales de physique et de chimie*, t. X, p. 452, 1867.)

Panas, *Leçons sur les membranes internes de l'œil*, p. 124. Paris, 1878.

Panum, *De la grandeur apparente des objets.* (*Annales d'oculistique*, t. XLV, p. 263, 1861.)

Snellen, *Annales d'oculistique*, t. LXXV, p. 232, 1876.

Sœlberg-Wells, *Maladies des yeux*, p. 414.

Stampfer, cité par Snellen et Landolt, in *Handbuch*, t. III, p. 75.

Verdet, *Cours de physique*, t. II, p. 171. — *Conférences de physique*, t. II, p. 745.

Wundt, *Physique médicale*, Trad. par Monoyer, p. 368. Paris, 1871.

CHAPITRE XIII

NUMÉROTAGE DES LENTILLES

108. **Système duodécimal.** — Pour faire connaître la valeur numérique d'une chose et la préciser nettement, il faut adopter un point de départ, une unité qui serve de terme de comparaison. Les lentilles n'ont pas échappé à cette loi générale, elles portent un numéro qui indique leur valeur.

Dès le début, on a adopté le système duodécimal, et pour base des calculs, la distance focale principale. La lentille qui faisait converger les rayons solaires ou parallèles à un pouce de distance, c'est-à-dire celle dont le foyer principal était à un pouce de distance, fut prise pour unité. Celles qui réfractaient les mêmes rayons à 2, 3, 4, etc., pouces de distance, ayant une puissance de réfraction 2, 3, 4, etc., fois moindre que la première lentille prise pour unité, devinrent alors 1/2, 1/3, 1/4. Dans la pratique, on se contentait de dire 2, 3, 4, etc.; mais pour les calculs, il fallait employer la forme fractionnaire qui représentait la valeur réelle.

Les lentilles concaves furent soumises à la même numérotation. La lentille 1 était celle qui, accolée à la lentille convexe 1, rendait les rayons parallèles, et ainsi de suite pour les autres.

Les lentilles convexes, faisant converger les rayons, furent désignées par le signe +. Les lentilles concaves,

étant au contraire divergentes, prirent le signe —. Les premières furent, pour cette raison, appelées lentilles positives, et les secondes, lentilles négatives.

Dans le système duodécimal, le numéro de la lentille a été considéré par beaucoup de personnes comme représentant exactement le longueur focale et le rayon de courbure de la lentille.

Pour obtenir cette égalité entre le foyer et le rayon, il faut admettre que l'indice de réfraction du verre de la lentille est égal à 1,5.

En effet, si dans la formule des lentilles biconvexes

$$\frac{1}{f} = \frac{2(n-1}{r},$$

où f désigne le foyer, r le rayon de courbure et n l'indice de réfraction, on fait $n = 1{,}5$, il vient

$$\frac{1}{f} = \frac{2(1{,}5-1)}{r} = \frac{3-2}{r} = \frac{1}{r},$$

d'où

$$f = r.$$

Comme l'indice de réfraction du verre, employé pour les lunettes, n'est pas 1,5, il en résulte que le rayon de courbure n'est pas égal au foyer. Le numéro des lentilles qu'on trouve dans le commerce, indique seulement la longueur du rayon de courbure; c'est ce dont on peut se convaincre en lisant les ouvrages qui décrivent les procédés de fabrication des lunettes. Il importe de ne pas oublier cette particularité.

109. **Inconvénients du système duodécimal.** — Le système duodécimal a plusieurs inconvénients. Sa base varie d'un pays à l'autre, car le pouce français n'a pas la même longueur qu'en Angleterre. Ce dernier diffère de celui d'Autriche. Il en résulte qu'une lentille portant le

même numéro, n'a pas la même puissance de réfraction, suivant qu'elle a été fabriquée dans tel ou tel pays.

Pour nous en convaincre, il nous suffira de convertir en millimètres la valeur du pouce suivant les divers pays, ce qui nous permettra de dresser le tableau qui suit :

France	27	millimètres.
Amsterdam	23	—
Suède	24	—
Angleterre	25	—
Autriche	26	—
Russie	29	—

Ces valeurs étant connues, comparons entre elles une lentille qui porterait le numéro 30, par exemple, et voyons dans chacun de ces pays, quels seraient le rayon de courbure et la distance focale de cette lentille.

Après calculs faits, nous pouvons dresser le tableau suivant, où les valeurs du rayon et du foyer sont indiquées en centimètres.

	Rayon.	Foyer.
France	81	74
Amsterdam	69	63
Suède	72	66
Angleterre	75	69
Autriche	78	72
Russie	87	80

On voit par là qu'une lentille portant un même numéro, n'a pas du tout la même puissance de réfraction, suivant qu'elle a été fabriquée en tel ou tel pays. Les différences auraient été encore plus prononcées, si nous avions tenu compte des indices de réfraction du verre, d'après ces divers pays.

Un autre inconvénient du système duodécimal, inconvénient signalé déjà en 1864 par Burow, c'est que les intervalles entre les distances focales de deux lentilles successives, ne sont pas constants.

L'intervalle entre les lentilles 2 et 3, par exemple, n'est pas le même qu'entre les lentilles 3 et 4. Entre les lentilles 2 et 3, l'intervalle entre les distances focales est

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{3} = \frac{3-2}{6} = \frac{1}{6};$$

entre les lentilles 3 et 4, il est

$$\frac{1}{3} - \frac{1}{4} = \frac{4-3}{12} = \frac{1}{12}.$$

Ainsi dans le premier cas, il est de 1/6, et dans le second 1/12. Les intervalles ne sont donc pas équidistants. M. Landolt a longuement insisté sur cette inégalité.

De plus, le système duodécimal a un autre inconvénient dans la pratique; mais celui-ci est le moindre, il nécessite, pour tous les calculs à effectuer, des opérations sur des fractions, ce qui exige une certaine perte de temps.

Pour faciliter les calculs, M. Javal fit construire en 1865 une règle à calcul. Cette règle constitue un moyen rapide d'effectuer les calculs. J'ignore si son emploi s'est vulgarisé.

En 1870, Schobbens, d'Anvers, publia une table des réciproques pour résoudre simplement, disait-il, les problèmes concernant les lentilles. Ce n'était qu'une illusion, car la réciproque remplace une fraction simple par une fraction décimale. Les calculs, loin de devenir plus simples, devenaient plus longs ou plus compliqués, parce qu'il fallait, au préalable, convertir la fraction simple en fraction décimale, ou avoir recours à une table de réciproques, ce qui, dans les deux cas, occasionnait une perte de temps. Ce système des réciproques n'a pas prévalu.

110. **Nécessité d'une réforme.** — En présence de ces inconvénients, le besoin d'une réforme se faisait sentir.

En 1864, M. Giraud Teulon proposa une notation qui

réduisait les calculs à des opérations sur des nombres entiers. Il prit pour unité la lentille qui avait 18 pieds ou 216 pouces de distance focale. Cette lentille portait le numéro 1, car elle possédait une unité de réfraction. Cette notation, qui constituait une première tentative vers la réforme, ne fut jamais adoptée dans la pratique. Le point de départ était arbitraire, la puissance réfringente de l'unité était trop faible, ce qui donnait des chiffres élevés pour les lentilles le plus souvent employées. Ainsi la lentille, numérotée 10 dans le système duodécimal, portait le numéro 21 dans le système proposé par M. Giraud Teulon.

M. Burow proposa une nouvelle manière de numéroter les lentilles. Ce qu'il voulait surtout obtenir, c'était une série à termes équidistants. Il prit pour unité la lentille dont le foyer était de 120 pouces. Le numéro 2 était représenté par une lentille ayant 60 pouces de distance focale. En additionnant les distances focales des lentilles 1 et 2, 1/120 + 1/60, on obtenait 1/40 pour le foyer de la lentille numéro 3. En additionnant le foyer de celle-ci et le foyer de la lentille 1, on avait le foyer de la lentille 4, et ainsi de suite. Cette manière de compter permettrait d'arriver à des lentilles ayant entre elles des rapports constants d'équidistance, mais le point de départ était arbitraire.

Malgré toutes ces tentatives, la solution était à trouver. Pour la facilité des calculs, la suppression de la forme fractionnaire était indispensable, et pour atteindre ce but, il fallait rompre avec le passé, changer d'unité et adopter une base uniforme pour tous les pays, afin d'avoir partout des résultats égaux et comparables. Dès 1867, au congrès ophthalmologique de Paris, M. Javal proposa l'adoption du système métrique. Une commission fut nommée. Divers travaux furent publiés et le système métrique a été définitivement adopté en 1875, au congrès de Bruxelles.

Dans la commission nommée par le Congrès ophthalmo-

logique de Paris, les différents pays étaient représentés : la France, par MM. Giraud Teulon et Javal; l'Allemagne, par MM. Nagel et Leber; la Hollande, par Donders; l'Angleterre, par Soelberg Wells; l'Italie, par Quaglino, et l'Autriche, par Otto Becker.

Dès le début, cette commission se trouva aux prises avec la difficulté de concilier, autant que possible, le nouveau système avec l'ancien, afin d'utiliser les verres des anciennes collections. Mais cette difficulté a été vaincue par les opticiens qui ont consenti à confectionner des verres suivant le système métrique.

111. **Système métrique.** — Avec le système métrique, le numérotage des lentilles se fait selon la force de réfringence de la lentille et non suivant la distance focale. L'unité adoptée est une lentille dont le foyer principal est à 1 mètre. Cette unité a été proposée par M. Monoyer, qui lui a donné le nom de *dioptrie,* expression universellement acceptée.

D'après ce système, les lentilles qui ont une réfringence 2, 3, 4, etc., fois plus forte que la lentille unité, sont désignées par 2, 3, 4, etc., dioptries.

Comme, dans la pratique, on a quelquefois besoin de lentilles ayant une réfringence inférieure à 1 mètre, on a admis des fractions de dioptrie, 0,75, 0,50, 0,25, trois quarts, une demie, un quart de dioptrie.

112. **Comparaison des deux systèmes.** — Avec le système décimal ou métrique, les opérations s'effectuent rapidement, car le calcul ne porte que sur des nombres entiers peu élevés, ce qui peut se faire de tête.

Pour établir une comparaison entre les deux systèmes, l'ancien et le nouveau, posons la question suivante : Étant données deux lentilles convexes juxtaposées et d'une valeur connue, quelle est la valeur réfractive de cette association ?

Pour le système duodécimal, on donne les valeurs 13 et 7,

comme distances focales des deux lentilles. Notre calcul sera

$$\frac{1}{13} + \frac{1}{7} = \frac{1}{x}, \qquad \text{d'où} \qquad x = 4 + \frac{11}{20}.$$

Pour le système métrique, on donne les valeurs 3 et 5 dioptries, chiffres que nous pouvons additionner mentalement, pour obtenir aussitôt le résultat demandé, 8 dioptries.

Comme on le voit, le calcul est plus rapide et plus simple avec le système métrique qu'avec le système duodécimal. Il est inutile de multiplier les exemples.

113. **Détermination de la distance focale.** — Nous avons vu que le système duodécimal avait la prétention d'indiquer la distance focale de la lentille par le numéro qu'elle portait, le système métrique n'a pas cette prétention, car le nombre de dioptries indique seulement la puissance réfringente et non la distance focale. Dès lors, se présente la question suivante : Étant connu le nombre de dioptries d'une lentille, quelle est la distance focale? et *vice versâ*.

La puissance de réfraction de la lentille unité, 1 dioptrie, étant

$$\frac{1}{1 \text{ mètre}},$$

celle de D dioptries sera D fois plus forte :

$$\frac{D}{1 \text{ mètre}};$$

Mais comme la distance focale est en raison inverse de la puissance de réfraction, on aura pour la distance focale F d'une lentille de D dioptries,

$$F = \frac{1 \text{ mètre}}{D},$$

équation qui nous permettra de calculer la distance focale si nous connaissons le nombre de dioptries, et *vice versâ*.

Exemple. — Quelle est la distance focale d'une lentille de 5 dioptries? Nous avons

$$F = \frac{100\,\text{cent.}}{5} = 20\ \text{centimètres.}$$

Exemple. — Quel est le numéro d'une lentille dont la distance focale est de 50 centimètres? Nous avons

$$D = \frac{100\,\text{cent.}}{50} = 2\ \text{dioptries.}$$

Tous ces calculs peuvent se faire mentalement, et il n'est pas besoin d'une grande habitude des chiffres pour exécuter ces opérations.

114. **Passage d'un système à l'autre.** — En attendant que les lentilles disposées suivant le système duodécimal aient disparu, il faut que nous, qui sommes à une période de transition, en face des deux systèmes, il faut, dis-je, que nous sachions comment nous pouvons passer d'un système à l'autre.

Si les numéros que portent les lentilles du système duodécimal, indiquaient réellement la distance focale de ces lentilles, rien ne serait plus facile.

On dirait : une lentille 37 ayant sa distance focale à 37 pouces, environ 1 mètre, peut être comparée à la lentille unité du système métrique et considérée comme égale à 1 dioptrie.

Si 1 dioptrie égale 1/37, une lentille 2, 3, 4, d dioptries, ayant une puissance de réfraction 2, 3, 4, d fois plus forte, sera équivalente à une lentille de l'ancien système égale à $\frac{d}{37}$.

Désignons par $1/l$, la lentille de l'ancien système qui a cette valeur, nous aurons l'équation suivante :

$$\frac{d}{37} = \frac{1}{l},$$

équation qui nous permettrait de passer d'un système à l'autre.

Mais cette manière d'envisager la question est défectueuse. Le point de départ est erroné, car nous avons considéré comme équivalentes deux lentilles qui n'ont pas la même puissance de réfraction. La lentille du système duodécimal qui porte le numéro 37, n'a pas une distance focale égale à 1 mètre. Ce numéro 37, comme nous l'avons fait observer, indique non pas la longueur focale, mais le rayon de courbure, ce qui est différent.

Voici comment, d'après Javal, on doit passer d'un système à l'autre. Trois opérations sont nécessaires pour l'explication, mais elles nous conduiront à une formule d'une grande simplicité et d'une facile application.

Première opération. — Étant donnée une lentille l, du système ancien, comme ce numéro l indique le rayon de courbure, il faut déterminer la distance focale, ce que nous faisons au moyen de la formule

$$F = \frac{l}{2(n-1)}.$$

Pour les verres de lunettes que nous livre le commerce, M. Burow a trouvé que l'indice moyen de réfraction était 1,53. M. Javal accepte 1,54. En prenant ce dernier chiffre, on a

$$F = \frac{l}{2(1,54-1)} = \frac{l}{3,08-2} = \frac{l}{1,08}.$$

La distance focale de cette lentille l est donc le numéro qu'elle porte, divisé par 1,08.

Seconde opération. — La distance focale que nous avons obtenue par la première opération, est exprimée en pouces; il faut la convertir en centimètres, tel est le but de la seconde opération.

Un pouce étant égal à $2^c,7$, nous avons

$$\frac{l \,.\, 2,7}{1,08}.$$

Telle est la valeur en centimètres de la distance focale de la lentille l.

Troisième opération. — Cette distance focale connue, il s'agit de connaître le nombre de dioptries; c'est l'objet de la troisième opération.

Nous avons vu que la distance focale étant connue, il fallait, pour obtenir le nombre de dioptries, diviser 1 mètre ou 100 centimètres par cette distance focale.

En appliquant ce principe au cas actuel, nous avons pour obtenir le nombre d des dioptries,

$$d = \frac{100}{\frac{l \,.\, 2,7}{1,08}} = \frac{100 \,.\, 1,08}{l \,.\, 2,7} = \frac{40}{l}.$$

Telle est la formule donnée par M. Javal. On voit par là qu'étant donné le numéro d'une lentille l, ancien système, en divisant 40 par ce numéro, on obtient le nombre de dioptries. Si nous divisons 40 par le nombre de dioptries, nous aurons le numéro correspondant, l, de l'ancien système. Cette formule est la plus simple et la plus commode.

Exemple. — Une lentille, ancien système, porte le numéro 5; nous voulons savoir à quel numéro du système métrique elle correspond.

Nous divisons 40 par 5 et nous obtenons 8, c'est-à-dire 8 dioptries; telle est la réponse.

Exemple. — Nous voulons savoir à quel numéro de l'ancien système correspond une lentille de 10 dioptries.

Nous divisons 40 par 10, et nous obtenons 4, c'est-à-dire une lentille de 4 pouces, pour la valeur demandée.

Pour ne pas interrompre la description des opérations que M. Javal fait pour arriver à sa formule, nous n'avons pas insisté sur une particularité contenue dans la valeur obtenue par la seconde opération.

Nous avons vu que le numéro de la lentille, ancien système, exprimant en pouces la longueur de son rayon de courbure, le distance focale de cette lentille en centimètres était

$$\frac{l.2,7}{1,08}.$$

Remarquons que 2,7 divisé par 1,08, c'est la même chose que 5 divisé par 2; nous pouvons donc mettre

$$\frac{l.2,7}{1,08} = \frac{5l}{2}$$

et conclure de là, qu'étant donné le numéro d'une lentille, ancien système, il suffit, pour obtenir la distance focale en centimètres, de multiplier le numéro de cette lentille par 5 et de prendre la moitié du produit, ce qui peut se faire mentalement.

Exemple. — Quelle est la distance focale exprimée en centimètres, d'une lentille de 12 pouces?

Nous multiplions 12 par 5 = 60, nous prenons la moitié de 60 = 30. Cette lentille de 12 pouces a donc une distance focale de 30 centimètres.

Cette manière rapide de pouvoir calculer en centimètres la distance focale d'une lentille, ancien sytème, peut avoir ses avantages, à certains moments donnés.

En voici un exemple. Un myope déclare qu'il pouvait lire facilement à 10 centimètres de distance, mais que depuis quelque temps, il emploie un verre concave de

3 pouces, avec lequel il voit très bien de loin. Supposons qu'on n'ait à sa disposition que cette simple narration pour savoir si la myopie a augmenté. Le punctum remotum de ce myope était d'abord à 10 centimètres et maintenant il est exprimé par une lentille de 3 pouces. Impossible de comparer mentalement ces deux quantités. Calculons en centimètres la distance focale de cette lentille. Multiplions 5 par 3 = 15, dont la moitié est 7°,5. Nous concluons que le punctum remotum s'est rapproché et que la myopie a augmenté, puisque le punctum remotum qui était à 10 centimètres se trouve maintenant à 7°,5 de l'œil.

Fig. 67.

Boite de verres pour oculiste.

Le système métrique tend à se généraliser. En France, il est maintenant facile de se procurer des verres, disposés suivant ce système, car, à Paris, MM. Nachet, Crétès,

Roulot, livrent à la pratique médicale des boîtes aussi complètes qu'on peut le désirer. La figure 67 représente une de ces boîtes de collection de verres d'essai.

BIBLIOGRAPHIE

Burow, *Sur la série de verres et sur l'emploi du système métrique pour le numérotage des lunettes.* (*Annales d'oculistique,* LX, 5, 1868.)

— *De l'emploi du système métrique pour désigner les longueurs focales des verres de lunettes.* (*Annales d'oculistique,* LXX, 52, 1873.)

Giraud Teulon, *Interprétation nouvelle de la formule classique qui résume la théorie optique des lentilles.* (*Annales d'oculistique,* LII, 5, 1864.)

— *De la substitution du mètre au pied dans le numérotage des verres de lunettes.* (*Annales d'oculistique,* LXIX, 235, 1873.)

Javal, *Nouvelle règle à calcul.* (*Annales d'oculistique,* LIII, 181, 1865.)

— *Sur l'emploi du système métrique pour le numérotage des verres de lunettes.* (*Congrès ophthalmologique de Paris,* 142, 1867.)

— *De l'adoption du système métrique pour la désignation de l'amétropie.* (*Congrès ophthalmologique de Londres,* 163, 1872.)

— *Sur le numérotage des verres de lunettes.* (*Annales d'oculistique,* LXXVIII, 200, 1877.)

Landolt, *Introduction du système métrique en ophthalmologie.* (*Annales d'oculistique,* LXXV, 207, 1876.)

— *Rapport entre les verres de lunettes de l'ancien système et ceux du nouveau système.* (*Annales d'oculistique,* LXXVIII, 44, 1877.)

Monoyer, *Du système métrique dans le numérotage des verres de lunettes.* (*Annales d'oculistique,* LXVIII, 105, 1872.)

— *Sur l'introduction du système métrique dans le numérotage des verres de lunettes.* (*Annales d'oculistique,* LXIX, 97, 1873.)

Nagel, *Du système métrique appliqué au numérotage des verres de lunettes.* (*Annales d'oculistique,* LXII, 236, 1869.)

— *De l'introduction du système métrique dans le numérotage des verres de lunettes.* (*Annales d'oculistique,* LXIII, 158, 1875.)

Schobbens, *Table des réciproques.* (*Annales d'oculistique,* LXIV, 207, 1870.)

Warlomont, *De la substitution du mètre au pied dans le numérotage des verres de lunettes.* (*Annales d'oculistique,* LXIX, 5, 1873.)

Zehender, *De l'introduction du système métrique dans l'étude des anomalies de la réfraction de l'œil humain.* (*Annales d'oculistique,* LXXII, 225, 1874.)

CHAPITRE XIV

RÉFRACTION A TRAVERS UN SYSTÈME DE DEUX LENTILLES

115. **Utilité de cette étude.** — L'étude de la marche des rayons lumineux à travers deux systèmes lenticulaires parfaitement centrés, est très utile pour se rendre compte des calculs relatifs à la détermination de la réfraction de l'œil, soit à l'aide des optomètres, soit à l'aide de l'ophthalmoscope, par la méthode de l'image droite ou de l'image renversée.

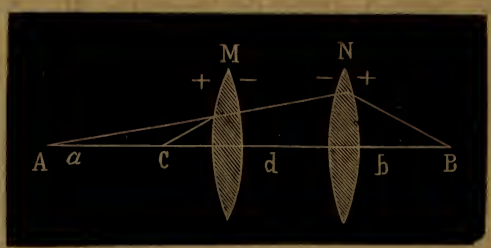
Cette étude, si importante pour la pratique médicale, est complètement passée sous silence dans les traités de physique. On pourrait l'aborder avec la théorie de Gauss, mais une exposition à la fois plus simple et plus pratique nous a paru préférable. Aussi, laissant de côté la théorie de Gauss, nous avons cherché à atteindre le but par des voies moins ardues et plus à la portée de tous. Nous avons pris pour point de départ la formule ordinaire des lentilles qui est déjà connue.

116. **Relation entre le foyer conjugué et la distance focale des deux lentilles.** — Dans toutes les démonstrations qui vont suivre, nous désignerons la première lentille par M, la seconde par N. C, sera le point lumineux situé sur l'axe principal commun aux deux lentilles; A sera l'image du point C, fournie par la lentille M; B sera la

seconde image, formée après réfraction à travers la lentille N. De plus, nous désignerons par *c*, la distance du point C à la lentille M; par *a*, la distance du point A à la lentille M; par *b*, la distance du point B à la lentille N, et par *d*, la distance entre les deux lentilles M et N.

Pour l'intelligence de la discussion qui va suivre, nous ferons observer que les points A et B pouvant être situés soit à droite, soit à gauche des lentilles M et N, nous considèrerons *a* comme positif, lorsque le point A sera situé à gauche de la lentille M, et négatif, dans le cas contraire; *b* sera aussi positif, lorsque le point B sera situé à droite de la lentille N, et négatif, dans le cas contraire. Les signes + et — placés dans la figure 68, de chaque côté des lentilles M et N, rappelleront cette observation importante, pour la généralisation des cas qui peuvent se présenter.

Fig. 68.



M, N, lentilles. — C, point lumineux. — A, image du point C fournie par la lentille M, et *a*, sa distance à la lentille M. — B, image du point A fournie par la lentille N, et *b*, sa distance à la lentille N. — *d*, distance entre les lentilles M et N.

Si nous jetons un coup d'œil sur la figure 68, nous voyons que le point C étant placé à une distance de la lentille M, inférieure à sa distance focale, il se forme une image virtuelle au point A. Les rayons qui traversent la lentille M, pour atteindre la lentille N, sont comme s'ils partaient du point A, et après avoir traversé la lentille N, ils viennent former une image au point B.

Ces explications données, nous avons pour la relation entre les points A et B,

$$(1)\quad \frac{1}{a+d}+\frac{1}{b}=\frac{1}{N}\qquad \text{d'où}\qquad \frac{1}{a+d}=\frac{1}{N}-\frac{1}{b}=\frac{b-N}{bN}.$$

Telle est l'équation qui va nous servir à discuter tous les cas qui peuvent se présenter.

PREMIÈRE PROPOSITION. — Les deux lentilles sont convexes.

Premier cas. $N<b$. Dans ce cas, a est positif, c'est-à-dire que le point A est situé à gauche de la lentille M et sa distance à la lentille M est donnée par l'équation suivante, déduite de l'équation (1) :

$$(2)\qquad a=\frac{bN}{b-N}-d.$$

Deuxième cas. $N>b$. Dans ce cas, a devient négatif. Le point A est placé à droite de la lentille M. En effet, N étant plus grand que b, $b-N$ devient négatif, et il s'agit de démontrer que a devient aussi négatif.

Dans ce cas, l'équation (1) peut être écrite

$$\frac{1}{a+d}=\frac{-(N-b)}{bN}=-\frac{N-b}{bN}.$$

D'où nous tirons

$$(3)\qquad -a=\frac{bN}{N-b}+d,$$

équation démontrant que a est négatif, et nous donnant la distance du point A à la lentille M.

Troisième cas. $N>a+d$. L'équation (1) peut être mise sous la forme suivante :

$$\frac{1}{b}=\frac{1}{N}-\frac{1}{a+d}=\frac{(a+d)-N}{(a+d)+N}.$$

N étant plus grand que la somme $(a + d)$, $\frac{1}{b}$ devient négatif; dans ce cas, l'équation (1) devient

$$\frac{1}{a+d} - \frac{1}{b} = \frac{1}{N},$$

d'où nous tirons

$$\frac{1}{a+d} = \frac{1}{b} + \frac{1}{N} = \frac{N+b}{Nb}.$$

a est positif, mais b est négatif.

La valeur a déduite de l'équation ci-dessus est

$$a = \frac{Nb}{N+b} - d. \tag{4}$$

Deuxième proposition. — La lentille N est concave. $\frac{1}{N}$ étant négatif, l'équation (1) prend la forme suivante :

$$\frac{1}{a+d} + \frac{1}{b} = -\frac{1}{N}.$$

Puisque le second terme de cette équation est négatif, il faut au moins que l'une des valeurs du premier terme soit négative. Supposons que ce soit $\frac{1}{b}$, nous avons

$$\frac{1}{a+d} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{N}, \quad \text{et} \quad \frac{1}{a+d} = \frac{1}{b} - \frac{1}{N} = \frac{N-b}{bN}. \tag{5}$$

Quatrième cas. $N > b$. Dans ce cas, a est positif, mais comme nous l'avons admis, $\frac{1}{b}$ est négatif. La valeur a devient

$$a = \frac{bN}{N-b} - d. \tag{6}$$

Cinquième cas. $N < b$. Dans ce cas, a devient négatif. Cela se démontre par des transformations analogues à celles que nous avons faites pour le deuxième cas. Il est

donc inutile de les reproduire. Nous avons pour la valeur de a

(7) $$-a = \frac{b\,\mathrm{N}}{b-\mathrm{N}} + d.$$

Sixième cas. Pour les deux cas précédents, nous avons admis que $\frac{1}{b}$ était négatif; nous allons maintenant supposer $\frac{1}{b}$ positif et $\frac{1}{a+d}$ négatif, $\frac{1}{\mathrm{N}}$ restant toujours négatif.

L'équation (1) devient

$$-\frac{1}{a+d} + \frac{1}{b} = -\frac{1}{\mathrm{N}} \quad \text{et} \quad \frac{1}{b} = \frac{1}{a+d} - \frac{1}{\mathrm{N}} = \frac{\mathrm{N}-(a+d)}{(a+d)\mathrm{N}}.$$

Puisque nous avons admis $\frac{1}{b}$ positif, N doit être plus grand que $a+d$. De l'équation ci-dessus, nous tirons pour la valeur absolue de a

(8) $$a = \frac{b\,\mathrm{N}}{b+\mathrm{N}} + d.$$

Troisième proposition. — Le point B est situé à l'infini. Ici $b = 0$.

Septième cas. La lentille N étant convexe, l'équation (1) devient

$$\frac{1}{a+d} = \frac{1}{\mathrm{N}}.$$

a est positif, et sa valeur est donnée par l'équation suivante :

(9) $$a = \mathrm{N} - d.$$

Huitième cas. La lentille N étant concave, l'équation (5) devient

$$\frac{1}{a+d} = -\frac{1}{\mathrm{N}}.$$

a est négatif et sa valeur est

(10) $$-a = \mathrm{N} + d.$$

QUATRIÈME PROPOSITION. — La lentille N = 0.

Neuvième cas. L'équation (1) devient

$$\frac{1}{a+d}+\frac{1}{b}=0, \qquad \text{d'où} \qquad \frac{1}{a+d}=-\frac{1}{b}. \tag{11}$$

On voit par là que si b est négatif, a est positif et *vice versâ*.

Dixième cas. Les points A et B sont situés à l'infini. L'équation (1) prend la forme

$$\frac{1}{\infty+d}+\frac{1}{\infty}=\frac{1}{N}=\infty. \tag{12}$$

La lentille N devient inutile, puisqu'elle doit avoir un foyer $=\infty$.

Onzième cas. a et b sont négatifs.

L'équation (1) prend les formes suivantes :

$$-\frac{1}{a+d}-\frac{1}{b}=0, \qquad =\frac{1}{-a+d}-\frac{1}{b},$$

$$\frac{1}{d-a}=\frac{1}{b}.$$

D'où, en valeurs absolues,

$$a=d-b. \tag{13}$$

CINQUIÈME PROPOSITION. — Les lentilles M et N sont constantes, mais la distance qui les sépare varie. Il s'agit de déterminer les variations de b.

Douzième cas. La lentille M est convexe, la lentille N est concave. Les rayons arrivent parallèles sur la lentille M. Le point A est par conséquent situé au foyer principal de cette lentille.

L'équation (8) du sixième cas convient pour étudier ici

les variations de b, en remplaçant a par M, puis ue le point A est au foyer principal de M.

De cette équation (8), nous tirons pour la valeur de b,

$$b = \frac{(M + d)N}{-(M - N) + d}. \tag{14}$$

Examinons maintenant ce que devient b, quand d augmente ou diminue.

Pour $d < M - N$, b est négatif et il atteint son minimum quand $d = 0$.

Pour $d = M - N$, $b = \infty$. Les rayons sortent parallèles de la seconde lentille N.

Pour $d > M - N$, b est positif. Plus d sera grand et plus $+ b$ sera petit.

Il résulte de là que d partant de 0 et augmentant graduellement, b aura toutes les valeurs comprises entre un minimum négatif et un minimum positif, en passant par $\mp \infty$.

Treizième cas. La lentille M est concave et la lentille N convexe. Comme dans le cas précédent, les rayons, tombant sur la lentille M, sont parallèles.

La lentille M étant négative, a est positif, et l'équation (1) devient applicable à ce cas, en remplaçant a par M.

De cette équation (1), en substituant M à a, nous tirons la valeur de b,

$$b = \frac{(M + d)N}{-(N - M) + d}. \tag{15}$$

Pour $d < N - M$, b est négatif, et il atteint son minimun quand $d = 0$.

Pour $d = N - M$, $b = \infty$. Les rayons sortent parallèles de la seconde lentille N.

Pour $d > N - M$, b est positif, et $+ b$ devient d'autant plus petit que d surpasse la différence $N - M$.

On voit par là que d, augmentant graduellement à partir de 0, b prend toutes les valeurs comprises entre un minimum négatif et un minimum positif, en passant par $\pm\infty$.

117. **Relation entre la grandeur de l'objet et la seconde image.** — Nous n'examinerons ici la relation entre la grandeur de l'objet et celle de la seconde image, que pour les deux premiers cas de la première proposition du paragraphe précédent, afin de pouvoir plus tard en déduire le grossissement de l'image renversée, que l'on obtient par l'examen ophthalmoscopique.

Désignons par C la grandeur de l'objet situé au point C, par A et B la grandeur des images formées aux points A et B.

De l'équation (2) du paragraphe précédent, nous tirons la valeur de b,

$$(\alpha) \qquad b = \frac{N(a+d)}{a+d-N}.$$

Les rapports entre chacune des images A et B et l'objet C, pris pour unité, sont les suivants :

$$(\beta) \qquad \frac{B}{A} = \frac{b}{a+d},$$

$$(\gamma) \qquad A = \frac{a}{c}.$$

Multipliant terme à terme les équations (β) et (γ), et remplaçant b, par sa valeur tirée de l'équation (α), il vient, pour la grandeur de la seconde image B,

$$(\delta) \qquad B = \frac{aN}{c(a+d-N)}.$$

Dans cette équation, a étant positif, B diminue quand d augmente, et *vice versâ*.

Si a devient négatif, comme B est toujours positif, l'équation (δ) prend la forme suivante :

$$(\varepsilon) \qquad B = \frac{-aN}{-c(a-d+N)}.$$

Ici, B augmente quand d augmente, et *vice versâ*.

Si nous admettons que la lentille N soit distante de la lentille M, d'une quantité égale à sa distance focale, $d = N$, l'équation (δ) devient

$$(\eta) \qquad B = \frac{N}{c}.$$

La dernière équation (η) nous servira de base pour le grossissement des images renversées, car on admet que la lentille convexe employée est distante du point nodal de l'œil observé, d'une quantité égale à sa distance focale.

Cependant nous aurons à transformer cette équation, car c, représentant la distance de la rétine au point nodal de l'œil observé, est une quantité variable suivant le degré et la nature de l'amétropie de l'œil observé.

118. **Conclusions.** — Les considérations auxquelles nous venons de nous livrer sont d'une grande importance, pour comprendre comment on détermine la réfraction de l'œil, par l'examen ophthalmoscopique.

Que représente le point C? La rétine de l'œil observé, qui vient faire image au point A. Si l'œil observé, qui est représenté par la lentille M, est hypermétrope, le point A se trouve situé en arrière de la rétine; s'il est myope, ce point A est situé en avant. Or la distance que nous avons appelée a, c'est la distance du punctum remotum de cet œil, c'est celle qui mesure le degré de l'amétropie de l'œil. En donnant à la valeur a le signe + ou —, nous avons prévu les cas d'hypermétropie et de myopie de l'œil observé. Si a est positif, l'œil observé

est hypermétrope; si a est négatif, l'œil observé est myope, car le punctum remotum du premier est situé en arrière de la rétine, et celui du second en avant.

Passons maintenant à la lentille N et au point B.

La lentille N est la lentille employée par l'observateur. Pour prévoir les cas où l'observateur n'a recours à aucune lentille, nous avons admis $N = 0$. Ce qui nous a permis d'obtenir la solution de ces cas. Nous avons admis N + ou —, car la lentille employée est tantôt convexe et tantôt concave.

Le point B indique la position du punctum remotum de l'observateur qui peut être hypermétrope ou myope. Sa réfraction est donnée par b, qui est positif quand l'œil observateur est hypermétrope, et négatif quand il est myope, car b indique la distance de son punctum remotum.

Enfin, nous avons examiné les cas où l'observateur et l'observé sont, l'un ou l'autre ou tous deux emmétropes, c'est quand a et b sont égaux à l'infini, parce que le punctum remotum de l'œil emmétrope est situé à l'infini.

Toutes les discussions que nous avons faites embrassent donc tous les cas qui peuvent se présenter. En voici le tableau :

	Œil observé.	Œil observateur.	Lentille.
	—	—	—
1er cas ...	Hypermétrope...	Hypermétrope...	Convexe.
2e cas.....	Myope.....	Hypermétrope...	Convexe.
3e cas.....	Hypermétrope...	Myope.....	Convexe.
4e cas.....	Hypermétrope...	Myope.....	Concave
5e cas. ...	Myope.....	Myope.....	Concave.
6e cas.....	Myope.....	Hypermétrope...	Concave.
7e cas.....	Hypermétrope...	Emmétrope.....	Convexe.
8e cas.....	Myope.....	Emmétrope.....	Concave.
9e cas.....	Hypermétrope...	Myope.....	Sans lentille.
—	Myope.....	Hypermétrope...	Sans lentille.
10e cas. ...	Emmétrope.....	Emmétrope.....	Sans lentille.
11e cas.....	Myope.....	Myope.....	Sans lentille.

La théorie physique étant connue, il ne nous reste qu'à passer à son application, c'est ce que nous allons faire dans le chapitre suivant.

CHAPITRE XV

DÉTERMINATION DE LA RÉFRACTION DE L'ŒIL

PAR L'EXAMEN OPHTHALMOSCOPIQUE DE L'IMAGE RENVERSÉE

119. Application de l'image renversée à la détermination de la réfraction de l'œil observé. — L'image renversée, appliquée à la détermination de la réfraction de l'œil observé, n'est pas la meilleure manière de procéder. Elle donne des résultats trop difficiles à apprécier et, par suite, de peu de valeur.

Pour obtenir, par cette méthode, la valeur de la réfraction de l'œil observé, on se fonde : 1° sur la grandeur de l'image renversée; 2° sur la distance de cette image à la lentille. En théorie, cette grandeur et cette distance sont faciles à calculer, mais il n'en est pas de même dans la pratique, ainsi que nous le verrons.

120. Distance de l'image renversée à la lentille. — Pour faire connaître cette distance, Snellen et Landolt ont dressé trois tableaux, comprenant tous les cas d'amétropie, depuis $\pm \frac{1}{2}$ jusqu'à l'infini. Le premier tableau suppose l'emploi d'une lentille, $+ \frac{1}{2}$, le second, une lentille $+ \frac{1}{6}$, et le troisième, une lentille, $+ \frac{1}{4}$.

Ces auteurs se sont servis du système duodécimal. Pour nous, nous emploierons le système métrique, ce qui nous dispensera de dresser des tableaux de distance, tout en

nous permettant d'arriver à une formule générale, embrassant tous les cas qui peuvent se présenter. Dans le paragraphe 122, nous tiendrons compte des variations de distance de la lentille à l'œil, mais maintenant, comme MM. Snellen et Landolt, nous admettrons que la lentille employée est distante de l'œil d'une quantité égale à sa distance focale.

Considérons d'abord les cas d'hypermétropie et reportons-nous au premier cas de la première proposition que nous avons étudiée, pour établir la relation entre le foyer conjugué et la distance focale de deux lentilles (page 235).

Nous sommes arrivés au résultat suivant (équation 2):

$$a = \frac{b\mathrm{N}}{b - \mathrm{N}} - d;$$

d'où nous tirons la valeur de b :

$$b = \frac{\mathrm{N}(a + d)}{a + d - \mathrm{N}}.$$

Si nous appliquons cette équation au calcul de la distance de l'image renversée à la lentille, nous voyons que N représente la distance focale de la lentille employée, d sa distance au point nodal de l'œil observé, a la distance du punctum remotum et l'amétropie de l'œil observé, et b la distance entre l'image et la lentille.

La lentille N étant supposée à une distance d, de l'œil, égale à sa distance focale, $\mathrm{N} = d$ et l'équation ci-dessus devient

$$b = \frac{\mathrm{N}a + \mathrm{N}^2}{a} = \mathrm{N} + \frac{\mathrm{N}^2}{a}.$$

Les valeurs N et a étant exprimées en centimètres, il faut les convertir en dioptries métriques, ce qui nous donne, en représentant par D la lentille N employée, et

l'hypermétropie a de l'œil observé, par la valeur d'une lentille métrique H,

$$N = \frac{100}{D}, \qquad a = \frac{100}{H}.$$

En substituant, il vient

$$b = \frac{100}{D} + \frac{\frac{100^2}{D^2}}{\frac{100}{H}} = \frac{100}{D} + \frac{10000\,H}{100\,D^2} = \frac{100}{D} + \frac{100\,H}{D^2}$$

$$= \frac{100\,D}{D^2} + \frac{100\,H}{D^2} = \frac{100(D+H)}{D^2}.$$

Telle sera la distance de l'image renversée à la lentille dans le cas d'hypermétropie.

Examinons maintenant ce qui se passe lorsque l'œil observé est myope.

Prenons le second cas de notre première proposition (page 235, équation 3), et opérons sur le résultat obtenu par ce second cas, comme nous l'avons fait pour le cas de l'hypermétropie, mais en désignant maintenant a, valeur de l'amétropie, par une lentille métrique équivalente M. Après calculs faits, nous obtenons, pour la distance b, de l'image à la lentille,

$$b = \frac{100\,D}{D^2} - \frac{100\,M}{D^2} = \frac{100(D-M)}{D^2}.$$

On voit qu'au fond les deux équations se ressemblent, car elles ne diffèrent que par le signe + ou —, suivant la nature de l'amétropie.

La lentille D dioptries restant constante, on remarque que la valeur de b croît ou décroît progressivement, suivant que l'œil observé est hypermétrope ou myope. Si l'on considère tous les degrés de l'amétropie depuis 1 jusqu'à ∞, on

obtiendra une progression arithmétique croissante pour l'hypermétropie, et décroissante pour la myopie. En se fondant sur les formules de Gauss, M. Giraud Teulon a démontré le premier que ce grossissement suivait une progression arithmétique.

Si l'amétropie est nulle, c'est-à-dire si l'œil est emmétrope, quelle que soit l'équation que l'on considère, comme H ou M deviennent 0, la distance de l'image à la lentille est alors

$$\frac{100\,D}{D^2} = \frac{100}{D};$$

ce qui indique que, pour l'œil emmétrope, l'image est située au foyer même de la lentille employée.

La valeur *b* augmentant à mesure que H augmente et diminuant, au contraire, à mesure que M grandit, il en résulte : 1° que plus l'œil est hypermétrope, plus l'image est éloignée de la lentille; 2° que plus l'œil est myope, et plus l'image est rapprochée de la lentille.

Enfin, si l'on suppose les quantités H ou M constantes, l'image se rapproche d'autant plus de la lentille que le numéro de cette lentille (exprimé en dioptries) est élevé, c'est-à-dire que plus la distance focale de cette lentille est courte et plus l'image se rapproche de la lentille.

Exemple. — L'œil observé à l'aide d'une lentille de + 20 dioptries, a une hypermétropie de + 4 dioptries, on demande à quelle distance de la lentille se trouve l'image renversée?

Nous avons, pour calculer cette distance,

$$\frac{100(20 + 4)}{20^2} = \frac{2400}{400} = 6 \text{ centimètres.}$$

L'image renversée est à 6 centimètres de la lentille.

Exemple. — L'œil observé avec une lentille de + 20 dioptries, a une myopie de — 4 dioptries, à quelle distance de la lentille se trouve l'image renversée?

D'après l'équation pour les cas de myopie de l'œil observé, nous avons

$$\frac{100\,(20-4)}{20^2} = \frac{1600}{400} = 4 \text{ centimètres.}$$

L'image renversée est à 4 centimètres de la lentille.

Exemple. — L'œil observé est emmétrope, la lentille employée est + 20 dioptries, où se trouve l'image renversée?

Nous avons

$$\frac{100.20}{20^2} = \frac{2000}{400} = 5 \text{ centimètres.}$$

L'image renversée est à 5 centimètres de la lentille, c'est-à-dire au foyer de cette lentille, car une lentille de + 20 dioptries a son foyer à 5 centimètres.

121. **Grossissement de l'image renversée.** — Nous avons vu (117) que la relation entre la grandeur de l'objet et son image était donnée par l'équation suivante, la lentille étant supposée distante du point nodal d'une quantité égale à sa distance focale,

$$B = \frac{N}{c}.$$

B désigne ici le grossissement de l'image renversée, la partie de l'œil examinée étant prise pour unité, N la distance focale de la lentille employée, et *c* la distance de la rétine au point nodal de l'œil observé.

Dans un œil normal, cette distance *c* est égale à 15 millimètres, mais comme nous l'avons vu pour la longueur de l'œil amétrope (85), cette valeur de 15 millimètres est supérieure ou inférieure d'une quantité η, suivant que l'œil est myope ou hypermétrope.

Si l'œil est hypermétrope d'une quantité *d* dioptries,

ou h dioptries, la distance c sera égale à 15 millimètres moins $\frac{3h}{10}$ (85). D'un autre côté, la lentille N peut être représentée par une lentille de D dioptries ayant la même distance focale, $\frac{1000}{D}$ en millimètres. Nous aurons donc pour le grossissement,

$$B = \frac{1000}{D} \cdot \frac{150 - 3h}{10} = \frac{10000}{D(150 - 3h)}.$$

Pour la myopie le grossissement serait

$$B = \frac{10000}{D(150 + 3m)}.$$

On voit par là que plus l'hypermétropie est grande et plus l'image est grande, c'est l'inverse pour la myopie; et que plus la lentille employée a un long foyer et plus l'image est grande.

Dans l'œil normal, comme les quantités $+ 3m$ ou $- 3h$ deviennent 0, le grossissement obtenu est

$$B = \frac{10000}{150D} = \frac{1000}{15D} = \frac{200}{3D}.$$

Exemple. — Quel est le grossissement de l'image renversée de l'œil hypermétrope (+ 10 dioptries), examiné avec une lentille + 20 dioptries?

Le grossissement sera égal à

$$\frac{10000}{20(150 - 3.10)} = \frac{10000}{20(150 - 30)} = \frac{10000}{2400} = \frac{25}{6}.$$

L'image sera environ 4 fois plus grande que la partie de la rétine examinée.

Exemple. — Un œil myope (— 10 dioptries) est exa-

miné avec une lentille de + 20 dioptries, quel est le grossissement de l'image renversée?

Pour ce cas, le grossissement est :

$$\frac{10000}{20(150+3.10)} = \frac{10000}{20(150+30)} = \frac{10000}{3600} = \frac{25}{9}.$$

L'image est presque trois fois plus grande que la partie de la rétine examinée.

Exemple. — Un œil emmétrope est examiné par le procédé de l'image renversée, à l'aide d'une lentille + 20 dioptries, quel est le grossissement obtenu?

$$\frac{200}{9.20} = \frac{200}{60} = \frac{10}{3}.$$

Le grossissement est $\frac{10}{3}$, un peu supérieur à 3.

122. Influence des déplacements de la lentille sur la grandeur de l'image renversée. — Dans les paragraphes précédents, nous avons supposé que la lentille était placée à une distance du point nodal de l'œil observé, égale à sa distance focale. Il nous faut maintenant tenir compte des variations de la distance de la lentille à l'œil, afin d'étudier l'influence de ces déplacements sur la grandeur de l'image.

M. Giraud Teulon a le premier étudié cette question. Il s'est basé sur les formules de Gauss, formules qui ne sont pas à la portée de tout le monde. Nous n'aurons aucun recours à ces formules; nous nous servirons des équations plus simples que nous avons développées dans le chapitre précédent.

Distinguons trois cas, suivant que l'œil observé est emmétrope, hypermétrope, ou myope.

Œil emmétrope. — De l'œil emmétrope, les rayons sor-

tent parallèles et quelle que soit la distance de la lentille, ils arrivent toujours sur cette lentille à l'état de parallélisme. La position de la lentille n'apportera donc aucune modification à la grandeur de l'image. De là cette conclusion : l'image renversée d'un œil emmétrope reste constante, quelle que soit la distance à laquelle on place la lentille.

Œil hypermétrope. — Il faut distinguer trois cas, suivant que la lentille employée a une distance focale 1° égale, 2° inférieure, 3° supérieure au degré de l'hypermétropie.

Dans le paragraphe précédent (page 240), nous sommes arrivés à l'équation suivante :

$$B = \frac{aN}{c(a + d - N)}.$$

dans laquelle B désigne le grossissement, N la distance focale de la lentille employée, a le punctum remotum ou le degré de l'hypermétropie, et c la distance de la rétine au point nodal.

Premier cas. La lentille a une distance focale égale au degré de l'hypermétropie. Dans ce cas $N = a$, et l'équation ci-dessus devient

$$B = \frac{N^2}{cd}.$$

L'image est réelle et renversée, et elle va en diminuant au fur et à msure que d augmente, c'est-à-dire au fur et à mesure qu'on éloigne la lentille de l'œil.

Deuxième cas. La lentille a une distance focale plus petite que le degré de l'hypermétropie. $N < a$. Ce cas est le plus commun, car pour l'examen par la méthode de l'image renversée, on emploie une lentille à très court foyer. Si N est plus petit que a, $a - N$ est toujours positif, B est

donc positif, c'est une image réelle et renversée qui va en diminuant au fur et à mesure que d augmente.

Troisième cas. La lentille a une distance focale plus grande que le degré de l'hypermétropie. $N > a$. En supposant $d = 0$, le dénominateur de la fraction est négatif, et B est une image virtuelle et droite qui augmente au fur et à mesure que d augmente. Cette image est virtuelle tant que d est plus petit que $N - a$, et elle atteint son maximum quand $d = N - a$. Quand d devient plus grand que la différence $N - a$, le dénominateur de la fraction devient positif, et B est alors positif. L'image est réelle et renversée, et elle diminue au fur et à mesure que d grandit.

Œil myope. L'équation que nous avons donnée pour le cas de l'œil hypermétrope, prend la forme suivante quand il s'agit de l'œil myope :

$$B = \frac{aN}{c(a + N - d)}.$$

L'image est réelle et renversée tant que d est plus petit que a, et elle grandit au fur et à mesure que d augmente. Quand d est plus grand que a, c'est-à-dire quand la lentille a dépassé le punctum remotum de l'œil observé, $a - d$ devient négatif; l'image est virtuelle jusqu'à ce que $d = a + N$. Alors les rayons sortent parallèles de la lentille N, et l'image est très grande et très distante de la lentille.

Pour nous résumer et en ne tenant compte pour l'œil hypermétrope que du deuxième cas, parce qu'il est le plus fréquent, nous dirons qu'au fur et à mesure qu'on éloigne la lentille de l'œil, l'image reste constante quand l'œil examiné est emmétrope, qu'elle va en diminuant quand l'œil est hypermétrope et en augmentant quand l'œil est myope.

Nos lecteurs connaissant maintenant la théorie de la

détermination de la réfraction de l'œil observé par le procédé de l'image renversée, il ne nous reste qu'à décrire les instruments qui ont été imaginés pour arriver dans la pratique à une détermination exacte de la réfraction de l'œil observé.

123. **Ophthalmoscope de Schneller.** — Cet ophthalmoscope a pour but de mesurer le diamètre *b* de l'image renversée. Outre le miroir, il se compose d'une lentille convexe enchâssée dans un tube métallique. Ce tube est percé de deux ouvertures, l'une supérieure, l'autre inférieure. Chacune de ces ouvertures donne passage à une vis à large tête. Les deux vis qu'on peut éloigner ou rapprocher à volonté sont placées dans le tube à l'endroit où se forme l'image renversée. Cette image est mesurée par l'écartement des deux vis, car en approchant ou en éloignant les vis, on peut arriver à ce que la tête de chaque vis coïncide avec le bord de l'image.

De la grandeur de l'image, on en déduit celle de la partie du fond de l'œil qui a été examinée. Nous avons déjà signalé comme se font ces calculs.

Grâce à cet ophthalmoscope, Schneller a étudié l'influence de diverses causes sur la circulation interne de l'œil.

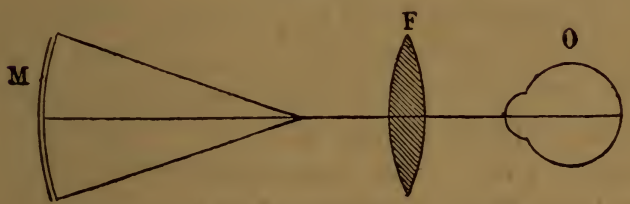
124. **Micromètre de Giraud Teulon.** — Si dans le tube de l'ophthalmoscope de Schneller, nous remplaçons les deux vis par une lame de verre dont la surface est divisée en millimètres carrés, nous aurons le micromètre de Giraud Teulon.

Cet instrument, présenté au congrès ophthalmologique de Paris, a pour but la mensuration ophthalmoscopique de la papille du nerf optique. L'image venant se dessiner sur la plaque de verre, il est facile d'en connaître l'étendue, en notant le nombre de carrés qu'elle occupe. Mais comme

la distance du second point nodal à la rétine peut varier, il en résulte que cet instrument ne donne pas des indications aussi précises qu'on serait en droit d'attendre.

125. **Ophthalmoscope de Schmidt-Rimpler.** — M. Schmidt-Rimpler, professeur à Marbourg, a fait disposer un ophthalmoscope de la façon suivante :

Fig. 69.



M, miroir concave. — F, lentille convexe. — O, œil observé.

Le miroir M *(fig. 69)* est concave. Sa distance focale est de 8 pouces. Une lentille convexe F, de 4 pouces de foyer, est placée à égale distance du point nodal de l'œil observé O et du foyer du miroir, et chacune de ces distances est égale à la distance focale de la lentille F. Pour se placer dans ces conditions, M. Schmidt-Rimpler approche la lentille F de l'œil O de $3\frac{3}{4}$ de pouces, et la lampe est mise à une distance assez grande du miroir, pour que les rayons, tombant sur le miroir, puissent être considérés comme parallèles.

Examinons ce qui se passe dans ces conditions. Le foyer du miroir coïncidant avec celui de la lentille, les rayons lumineux, après avoir été réfléchis par le miroir, rencontrent la lentille d'où ils sortiront à l'état de parallélisme, et supposons qu'ils viennent former leur foyer sur la rétine de l'œil observé. Marchant en sens inverse, ces rayons partis de la rétine viendront former leur foyer au foyer même de la lentille, entre la lentille et le miroir.

L'image de la flamme sur la rétine viendra donc se former au foyer de la lentille où l'observateur pourra la voir.

Dans ce cas, puisque les rayons entrant dans l'œil à l'état de parallélisme, ont formé leur foyer sur la rétine, l'œil est emmétrope et la distance entre le miroir M, et la lentille F, qui a produit ce parallélisme des rayons, est égale à la somme des distances focales de la lentille et du miroir. Cette somme des distances est de 12 pouces pour l'instrument de M. Schmidt-Rimpler.

Il faut donc conclure de là, que lorsque l'image de la flamme est vue, quand la lentille et le miroir sont éloignés l'un de l'autre d'une distance égale à la somme de leurs distances focales, l'œil observé est emmétrope, ce qui est exact.

Pour percevoir l'image de la flamme, rapproche-t-on le miroir de la lentille, l'œil observé est myope. Démontrons-le.

En rapprochant le miroir M de la lentille F, d'une quantité e par exemple, nous rapprochons le foyer du miroir de la lentille et au lieu de la distance $f + m$ que nous avions dans le cas précédent, en désignant par f le foyer de la lentille, par m le foyer du miroir, nous avons maintenant $f + m - e$. La distance entre le foyer du miroir et la lentille étant inférieure à la distance focale de la lentille, les rayons sortent en divergeant de la lentille pour pénétrer dans l'œil. Si l'œil observé a réuni sur la rétine ces rayons divergents, c'est que sa réfringence est supérieure à celle de l'œil normal; cet œil est donc myope.

Éloigne-t-on au contraire le miroir de la lentille, d'une quantité e' par exemple, la distance entre le miroir et la lentille, qui était dans le premier cas $f + m$, devient $f + m + e'$. Le foyer du miroir est à une distance de la lentille, supérieure à sa distance focale; les rayons sortent donc de la lentille à l'état de convergence, et l'œil observé qui réunit en foyer ces rayons sur la rétine, a une réfraction moindre qu'à l'état normal; il est donc hypermétrope.

En prenant pour base la distance de l'image au foyer de

la lentille, on peut arriver à des résultats plus pratiques, surtout si, comme l'a fait M. Loiseau, on adopte le système métrique. Schmidt-Rimpler emploie une lentille de 4 pouces et un miroir de 8 pouces de foyer. M. Loiseau conseille de recourir à une lentille de 10 dioptries et à un miroir de 20 centimètres de foyer.

D'après l'équation que nous avons donnée (p. 244), la distance b de l'image renversée à la lentille est

$$b = \frac{N(a + d)}{a + d + N}.$$

La lentille N étant placée à une distance de l'œil observé égale à sa distance focale, $N = d$, cette équation devient, ainsi que nous l'avons vu :

$$b = \frac{aN + N^2}{a}.$$

Pour l'œil hypermétrope, la distance de l'image au foyer de la lentille sera $b - N$. En retranchant N des deux termes de l'équation précédente, il vient :

$$b - N = \frac{aN + N^2 - aN}{a} = \frac{N^2}{a}.$$

Si la lentille N est une lentille de + 10 dioptries métriques, elle aura un foyer de 10 centimètres, dont le carré est un centimètre. La distance de l'image au foyer sera donc exprimée par l'unité divisée par a. En désignant cette distance par K, on aura pour le degré a de l'hypermétropie :

$$a = \frac{1}{K}.$$

Si K égale 1, 2, 3 centimètres, l'amétropie sera $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ de dioptrie, ou 2 ou 3 dioptries.

Il résulte de là qu'à partir du point où les deux foyers du miroir et de la lentille coïncident, si l'observateur

approche le miroir de la lentille de 1, 2 ou K centimètres, pour percevoir l'image, la myopie est de 1, 2 ou K dioptries, et inversement pour l'hypermétropie.

En désignant le foyer du miroir par S, celui de la lentille par N, on pourrait poser l'équation suivante pour le calcul de la réfraction *a* de l'œil observé :

$$a = \frac{1}{(S + N + K) - (S + N)}.$$

K représente ici la quantité dont on éloigne ou on approche le miroir du foyer de la lentille. L'équation ci-dessus s'applique à l'hypermétropie. Pour la myopie, il faut changer les signes.

Exemple. — Un miroir a 20 centimètres de foyer, et la lentille, placée à une distance de l'œil égale à sa distance focale, a 10 centimètres de foyer; le miroir est éloigné de la lentille de 30 centimètres. Quelle est la réfraction de l'œil observé?

K est ici égal à 0. D'après l'équation ci-dessus, nous avons

$$a = \frac{1}{(20 + 10) - (20 + 10)} = \frac{1}{0}.$$

L'œil observé est emmétrope.

Exemple. — Le miroir et la lentille ayant les mêmes foyers que dans l'exemple précédent, le miroir a été éloigné de 2 centimètres, quelle est la réfraction de l'œil observé?

D'après l'équation, nous avons

$$a = \frac{1}{(20 + 10 + 2) - (20 + 10)} = \frac{1}{2}.$$

L'hypermétropie est de 2 dioptries.

Exemple. — Le miroir et la lentille ayant les mêmes foyers que dans les exemples précédents, le miroir a été approché de 4 centimètres, quelle est la réfraction de l'œil observé?

Pour cet exemple, nous devons changer les signes de

notre équation, qui devient, en remplaçant les lettres par les valeurs données,

$$a = \frac{1}{(20 + 10) - (20 + 10 - 4)} = \frac{1}{4}.$$

La myopie est de 4 dioptries.

Réflexions. — La détermination de la réfraction à l'aide de l'image renversée est un moyen plus théorique que pratique. Préciser exactement le siége et le grossissement de cette image, constitue une difficulté pratique trop grande pour se borner à ce mode d'examen. Les instruments inventés à cet effet ne tranchent pas la difficulté.

Snellen et Landolt qui considèrent la lentille de 4 pouces (10 dioptries) comme la meilleure pour l'examen de l'image renversée lorsqu'on veut déterminer la réfraction, reconnaissent que cette manière de procéder donne des résultats inférieurs à ceux qu'on obtient par l'examen de l'image droite, et ils ont raison.

Pour avoir des données certaines sur l'image renversée il faut des instruments compliqués, et les plaques destinées à recevoir l'image, comme dans le micromètre de Giraud Teulon, diminuent tellement l'intensité de l'éclairage, qu'elles rendent l'image confuse et moins nette à apprécier.

Pour éviter cet inconvénient, Snellen et Landolt sont d'avis qu'il vaudrait mieux mettre dans le tube un fil vertical qui pourrait être approché ou éloigné de la lentille. On chercherait ensuite à mettre le fil dans une position telle que l'image rétinienne et le fil fussent vus avec la même netteté, ce qui indiquerait leur coïncidence. La distance du fil à la lentille donnerait alors la distance de l'image à la lentille, ce qui permettrait de calculer la réfraction de l'œil. Mais ces auteurs reconnaissent que ce moyen serait minutieux.

Des considérations que nous venons d'émettre, nous pouvons conclure que la détermination de la réfraction

par l'image renversée est un moyen peu pratique. Il faut lui préférer la détermination par l'image droite, quoique ce moyen ait ses inconvénients. Cependant nous ne pouvons nous empêcher de faire remarquer qu'on pourrait diagnostiquer la nature de l'amétropie, mais non son degré, en observant ce que devient l'image, quand on approche ou quand on éloigne la lentille de l'œil observé. Quand l'œil est emmétrope, la grandeur de l'image renversée reste invariable; il n'en est pas de même quand l'œil est amétrope. Si l'œil est hypermétrope, l'image renversée diminue au fur et à mesure que la lentille est éloignée de l'œil. Le phénomène inverse se produit quand l'œil observé est myope. Il y a donc, dans les variations que subit la grandeur de l'image renversée, un élément de diagnostic pour l'amétropie, mais de là à une détermination exacte du degré de l'amétropie, il y a loin.

La méthode conseillée par Schmidt-Rimpler, surtout si l'on emploie le système métrique, mérite d'être prise en considération. Mais je doute qu'elle prenne le pas sur les moyens plus simples et plus rapides qui sont à notre disposition. Cependant, comme moyen de contrôle, dans les cas d'expertise médicale, elle pourrait être utilisée avec fruit.

BIBLIOGRAPHIE

Giraud Teulon, *Congrès ophthalmologique de Paris*, p. 146, 1867.

— *De l'influence des lentilles positives et négatives et de celle de leur distance à l'œil sur les dimensions des images ophthalmoscopiques.* (*Annales d'oculistique*, LXII, 93, 1877.)

Loiseau, *Optométrie ophthalmoscopique au moyen de l'image renversée.* (*Archives médicales belges*, p. 329, 1878.)

Schmidt-Rimpler, *Nouvelle méthode pour la réfraction à l'ophthalmoscope.* (*Annales d'oculistique*, LXXVIII, p. 178, 1877.)

Schneller, *Ophthalmoscope muni d'un micromètre.* (*Annales d'oculistique*, XLIII, p. 273, 1860.)

Snellen et Landolt, *Handbuch*, III, 136.

CHAPITRE XVI

DÉTERMINATION DE LA RÉFRACTION DE L'ŒIL

PAR L'EXAMEN OPHTHALMOSCOPIQUE DE L'IMAGE DROITE

126. Historique. — La possibilité de déterminer la réfraction d'un œil, à l'aide de l'image droite, a été d'abord signalée par Helmholtz, mais on y fit peu d'attention. Cinq ans plus tard, en 1856, Jæger précisa toutes les ressources que pouvait fournir l'étude de l'image droite. Son travail, intitulé l'*Ophthalmoscope comme optomètre*, eut peu de retentissement; car alors on se bornait presque exclusivement à l'étude de l'image renversée.

En 1864, Donders signala de nouveau l'importance de l'étude de l'image droite; mais il apportait tant de restrictions, qu'il était assez difficile de considérer l'ophthalmoscope comme un excellent optomètre. Donders reconnaissait bien que la détermination de la réfraction par l'image droite méritait toute l'attention, que ce moyen était applicable dans des cas où les autres moyens faisaient défaut, soit en totalité, soit en partie; mais il concluait que généralement cette méthode était inférieure à la détermination par des verres d'une distance focale connue.

Ce n'est qu'à partir de 1867 que l'étude de l'image droite est entrée dans la pratique médicale, comme moyen de déterminer la réfraction de l'œil. A cette époque, Mauthner, de Vienne, exposa la question avec une si grande clarté et

une si grande précision, que l'ophthalmoscope a pu être réellement considéré comme un optomètre.

Il n'a été rien ajouté à la démonstration de Mauthner. On peut s'en convaincre en lisant le traité d'ophthalmoscopie de cet auteur, et ceux de Wecker, de Hugo Gerold, de Snellen et Landolt.

Mauthner a discuté tous les cas qui peuvent se présenter, et il les a discutés en adoptant le système duodécimal. Tous ceux qui sont venus après lui, l'ont imité. C'est par le raisonnement que Mauthner a abordé tous les cas, c'est en nous fondant sur les principes que nous avons développés au chapitre XIV, que nous les aborderons. Cela nous permettra d'élever la question, en la rattachant à sa véritable source, aux notions d'optique. De plus, nous aurons à songer au système métrique, question importante, puisque beaucoup d'ophthalmoscopes à réfraction sont disposés suivant ce système.

127. **Notions générales.** — La détermination de la réfraction par l'image droite, disent MM. Snellen et Landolt, a pour base la recherche de la réfraction qu'on doit donner à son œil pour voir nettement le fond de l'œil observé.

Cette définition est exacte, mais nous pensons que la question doit être présentée sous une autre forme, en prenant pour point de départ le punctum remotum, tant celui de l'observé que celui de l'observateur.

L'observateur ne percevra l'image du fond de l'œil observé qu'autant que cette image viendra se former à son punctum remotum. D'un autre côté, les rayons émanés de l'œil observé sont comme s'ils partaient du punctum remotum. L'observateur doit donc faire coïncider son punctum remotum avec celui de l'observé. Si cette coïncidence a lieu naturellement, l'observateur n'a pas besoin de lentilles; dans le cas contraire, il est obligé d'y

avoir recours, pour produire artificiellement la coïncidence des deux puncta remota.

Puisqu'il s'agit de la coïncidence des deux puncta remota, celui de l'œil observateur avec celui de l'œil observé, il faut que l'observateur et l'observé aient tous deux une accommodation au repos. Pour l'œil observé, la chose est facile à obtenir à l'aide d'une instillation préalable d'atropine, ou en engageant le malade à regarder au loin. Quant à l'observateur, il faut qu'il s'habitue à mettre son accommodation au repos, et qu'il connaisse la réfraction statique de son œil. S'il ne peut relâcher complètement son accommodation, il faut qu'il sache de quelle quantité il peut la relâcher, et tenir compte de l'état dans lequel se trouve alors la réfraction de son œil. Ce n'est qu'à ces conditions, que la détermination pourra être sérieusement faite avec les ophthalmoscopes à réfraction, instruments que nous décrirons plus tard.

Pour présenter un travail complet sur cette question, nous nous baserons sur les données que nous avons développées au chapitre XIV. Ce chapitre, nous l'avons particulièrement écrit pour faciliter l'étude théorique de la réfraction de l'œil par l'image droite. En effet, il suffit de considérer la lentille M, comme représentant la puissance de réfraction de l'œil observé; *a*, comme exprimant la distance du punctum remotum de l'œil observé; *b*, la distance du punctum remotum de l'œil observateur. Ces quantités *a* et *b* peuvent être positives ou négatives, suivant que l'œil est hypermétrope ou myope, et représentent la distance focale d'une lentille qui exprimerait le degré de réfraction statique de l'œil. La lentille N indique la lentille employée par l'observateur.

Afin d'être aussi complet que possible, nous examinerons les cas avec les données du système duodécimal et avec celles du système métrique. Dans tous les cas, nous supposerons que l'ophthalmoscope est placé à 2 pouces de l'œil

observé, pour le système duodécimal, et à 5 centimètres, pour le système métrique.

Pour procéder avec méthode, nous classerons les observateurs en trois catégories, suivant qu'ils sont emmétropes, hypermétropes ou myopes.

128. **Observateur emmétrope.** — Trois cas peuvent se présenter. L'observateur emmétrope perçoit l'image droite: 1° sans lentille; 2° avec une lentille convexe; 3° avec une lentille concave.

Premier cas. — *Examen sans lentille.* — L'œil observé est emmétrope, car de cet œil les rayons sont sortis à l'état de parallélisme, et ces rayons parallèles, l'œil emmétrope de l'observateur les a réunis en foyer sur sa rétine. C'est ainsi qu'il a pu voir l'image droite, sans avoir recours à une lentille.

D'après notre démonstration, b, punctum remotum de l'observateur, $= \infty$, la lentille $N = 0$, et a, punctum remotum, devient $= \infty$. (Chap. XIV, 10e cas, équation 12.)

Deuxième cas. — *Examen avec lentille convexe.* — L'œil observé est hypermétrope. Les rayons sortent de cet œil à l'état de divergence. L'observateur emmétrope a besoin de rayons parallèles pour voir, et, afin de rendre parallèles ces rayons divergents, il emploie une lentille convexe, dont la distance focale principale indiquerait le degré de l'hypermétropie de l'œil observé, si cette lentille était placée au point nodal de cet œil; mais elle en est distante d'une quantité d. L'hypermétropie sera donc égale à la distance focale de la lentille employée, moins la distance entre l'œil observateur et l'œil observé.

Le punctum remotum b de l'œil observateur $= \infty$. La lentille N est convexe. Le punctum remotum a de l'œil observé est situé en arrière de son œil; il est donc hyper-

métrope, et son hypermétropie = N — *d*. (Chap. XIV, 7e cas, équation 9.)

Pour le système duodécimal, l'hypermétropie de l'œil observé sera N — 2; mais avec le système métrique, elle sera égale à

$$\frac{20\,D}{20 - D},$$

D désignant le nombre de dioptries de la lentille employée.

Exemple. — Un œil emmétrope, pour percevoir l'image droite, a employé une lentille convexe + 20. Quelle est la réfraction de l'œil observé, la lentille ayant été placée à 2 pouces de cet œil?

L'œil observé est hypermétrope, 20 — 2 = 18.

Exemple. — Pour percevoir l'image droite, un observateur emmétrope a employé une lentille + 4 dioptries. L'ophthalmoscope ayant été placé à 5 centimètres de l'œil observé, quelle est la réfraction de cet œil?

L'hypermétropie est

$$\frac{20 \cdot 4}{20 - 4} = \frac{80}{16} = 5 \text{ dioptries.}$$

Troisième cas. — *Examen avec une lentille concave.* — L'œil observé est myope. De l'œil myope, les rayons sortent en convergeant pour former leur foyer au punctum remotum, qui est situé en avant de l'œil. Pour ramener au parallélisme ces rayons convergents, l'observateur emmétrope a employé une lentille concave, dont le foyer est égal à la distance entre cette lentille et le punctum remotum de l'œil observé. La myopie de cet œil serait donc égale à la lentille N, si le point nodal de cet œil avait coïncidé avec le centre optique de cette lentille; mais il est distant d'une quantité *d*, qu'il faut ajouter.

Ici $b = \infty$. La lentille N est concave, *a* devient négatif,

c'est-à-dire que le punctum remotum est situé en avant, l'œil est donc myope, et sa myopie = N + *d*. (Chap. XIV, 8e cas, équation 10.)

Avec le système duodécimal, cette myopie = N + 2; mais avec le système métrique, elle devient :

$$\frac{20\,D}{20 + D}.$$

Exemple. — Un œil emmétrope, pour percevoir l'image droite, a employé une lentille concave de 8 pouces. Quel est le degré de myopie de l'œil observé, la lentille ayant été placée à 2 pouces?

La myopie est 8 + 2 = 10.

Exemple. — Pour percevoir l'image droite, un observateur emmétrope a employé une lentille concave de 5 dioptries, l'ophthalmoscope ayant été placé à 5 centimètres, quelle est la myopie de l'œil observé?

La myopie est :

$$\frac{20 \,.\, 5}{20 + 5} = \frac{100}{25} = 4 \text{ dioptries.}$$

129. **Observateur hypermétrope.** — Cinq cas peuvent se présenter. L'observateur hypermétrope perçoit l'image droite : 1° sans lentille; 2° avec une lentille qui corrige son hypermétropie; 3° avec une lentille convexe, supérieure à son degré d'hypermétropie; 4° avec une lentille convexe, inférieure à son degré d'hypermétropie; 5° avec une lentille concave.

Dans tous les cas d'hypermétropie de l'observateur, le punctum remotum de l'œil étant en arrière de l'œil, *b* est positif. Cette hypermétropie préalablement déterminée, sera désignée par N′ pour le système duodécimal, et par D′ pour le système métrique.

Premier cas. — *Examen sans lentille.* — L'œil observé est myope. De cet œil, les rayons sortent en convergeant.

pour former leur foyer au punctum remotum. Pour que l'observateur hypermétrope voie l'image droite, il faut que son punctum remotum coïncide avec celui de l'œil observé. Or, la distance entre son punctum remotum et son point nodal est connue, elle est indiquée par la lentille N′ ou D′; et comme il y a eu coïncidence des deux *puncta remota,* il en résulte que la distance du punctum remotum de l'œil observé est égale à celle de l'observateur, plus l'écartement entre les deux yeux, observateur et observé.

Ici *b* étant positif, N = 0, *a* est négatif. L'œil observé est myope. (Chap. XIV, 9e cas, équation 11.)

Avec le système duodécimal, la myopie de l'œil observé sera N′ + 2, et avec le système métrique :

$$\frac{20D'}{20 + D'}.$$

Exemple. — Un observateur, ayant une hypermétropie de 10 pouces, a vu, sans lentille, l'image droite. Quelle est la myopie de l'œil observé, les deux yeux étant distants de deux pouces?

L'œil observé est myope, 10 + 2 = 12.

Exemple. — Pour percevoir l'image droite, un observateur, hypermétrope de 5 dioptries, n'a employé aucune lentille, quelle est la myopie de l'œil observé?

Elle est de

$$\frac{20 \cdot 5}{20 + 5} = \frac{100}{25} = 4 \text{ dioptries.}$$

Deuxième cas. — *Examen avec une lentille qui corrige l'hypermétropie de l'œil observateur.* — L'œil observé est emmétrope. L'observateur, en employant une lentille qui a corrigé son hypermétropie, se trouve placé dans les conditions de l'œil emmétrope et apte à percevoir les rayons qui lui arrivent parallèles.

Si dans l'équation 1 du chapitre XIV, nous faisons $b = N$, $a = \infty$. C'est ici le cas. La lentille N, qui a corrigé l'hypermétropie de l'observateur, a une distance focale égale à la distance du punctum remotum b. Le punctum remotum de l'œil observé étant à l'infini, cet œil est emmétrope.

Il est inutile de donner des exemples pour ce cas.

Troisième cas. — *Emploi d'une lentille convexe plus réfringente que le degré d'hypermétropie de l'observateur.* — L'œil observé est hypermétrope. Si l'observateur avait employé une lentille qui eût corrigé son hypermétropie, il se serait trouvé placé dans les conditions de l'œil emmétrope et apte à percevoir des rayons parallèles. Mais les rayons qui émanent de l'œil observé sont si divergents que l'observateur est obligé non seulement de corriger son hypermétropie, mais même d'employer un verre plus fort pour percevoir l'image du fond de l'œil observé.

Ici b et N sont positifs, mais N est plus petit que b; a devient positif, l'œil observé est hypermétrope. (Ch. XIV, 1er cas, équation 2.)

Si dans cette équation, nous remplaçons b, qui exprime la distance du punctum remotum de l'observateur, par la lentille N′ ou D′, qui exprime le degré de l'amétropie, nous avons pour le système duodécimal,

$$\frac{NN'}{N' - N} - 2,$$

et pour le système métrique,

$$\frac{20\,(D - D')}{20 - (D - D')}.$$

Exemple. — Un observateur, ayant une hypermétropie de 24 pouces, a employé une lentille de 10 pouces pour voir l'image droite, quelle est l'hypermétropie de l'œil observé?

L'hypermétropie est

$$\frac{8 \cdot 24}{24 - 8} - 2 = \frac{192}{16} - 2 = 10.$$

Exemple. — L'observateur hypermétrope de 2 dioptries a employé une lentille de 4 dioptries pour percevoir l'image droite, quelle est l'hypermétropie de l'œil observé?

Elle est de

$$\frac{20\,(4 - 2)}{20 - (4 - 2)} = \frac{40}{18} = 2{,}22.$$

Environ 2 dioptries $\frac{1}{4}$.

Quatrième cas. — *Emploi d'une lentille convexe, moins réfringente que le degré d'hypermétropie de l'observateur.* — L'œil observé est myope. L'observateur ne corrigeant pas complètement son hypermétropie, reste encore hypermétrope et s'il voit le fond de l'œil, c'est que de cet œil les rayons sortent en convergeant. Le punctum remotum de l'œil observé se trouve en arrière de celui de l'œil observateur, qui emploie une lentille convexe pour faire converger ces rayons et les réunir en foyer à son punctum remotum.

Ici b et N étant positifs, mais N plus grand que b, a est négatif. L'œil observé est myope. (Chap. XIV, 2e cas, équation 3.)

En remplaçant dans cette équation b par N′ ou D′, nous avons pour le système duodécimal,

$$\frac{NN'}{N - N'} + 2,$$

et pour le système métrique,

$$\frac{20\,(D' - D)}{20 + (D' - D)}.$$

Exemple. — Un observateur dont l'hypermétropie est

de 12 pouces, a employé une lentille convexe de 30 pouces pour voir nettement l'image droite. Quelle est la myopie de l'œil observé?

La myopie est :

$$\frac{30 \cdot 12}{30 - 12} + 2 = \frac{360}{18} + 2 = 24.$$

Exemple. — Un observateur, ayant une hypermétropie de 7 dioptries, a employé une lentille convexe de 2 dioptries pour voir l'image droite. Quel est le degré de la myopie de l'œil observé?

La myopie est de :

$$\frac{20(7-2)}{20+(7-2)} = \frac{100}{25} = 4 \text{ dioptries.}$$

Cinquième cas. — *Emploi d'une lentille concave.* — L'œil observé est myope. Les rayons émanés de l'œil observé sortent en convergeant et viennent se réunir en avant du punctum remotum de l'observateur, qui emploie un verre concave pour rendre ces rayons divergents et les amener à faire leur foyer à son punctum remotum.

Ici *b* est positif, la lentille est négative et *a* est négatif. (Chap. XIV, 6e cas, équation 8.)

En remplaçant dans cette équation *b* par N′ ou D′, il vient pour le système duodécimal,

$$\frac{NN'}{N+N'} + 2,$$

et pour le système métrique,

$$\frac{20+(D+D')}{20(D+D')}.$$

Exemple. — Un observateur, ayant une hypermétropie de 36 pouces, a employé une lentille concave 18, quelle est la myopie de l'œil observé?

Elle est de

$$\frac{36 \cdot 18}{36 + 18} + 2 = \frac{648}{54} + 2 = 14.$$

Exemple. — Un observateur, ayant une hypermétropie de 1 dioptrie, a employé un verre concave de 4 dioptries, pour voir l'image droite, quelle est la myopie de l'œil observé?

Elle est de

$$\frac{20(1 + 4)}{20 + (1 + 4)} = \frac{100}{25} = 4 \text{ dioptries.}$$

130. **Observateur myope.** — Cinq cas peuvent se présenter. L'observateur myope perçoit l'image droite : 1° sans lentille; 2° avec un verre concave qui corrige sa myopie; 3° avec une lentille dont la puissance réfringente est inférieure au degré de sa myopie; 4° avec un verre concave dont la puissance réfringente est supérieure au degré de sa myopie; 5° avec un verre convexe.

L'observateur étant myope, son punctum remotum est placé en avant de son œil; d'après l'annotation du chapitre XIV, b est ici négatif. Cette myopie préalablement déterminée sera désignée par N′, pour le système duodécimal et par D′, pour le système métrique.

Premier cas. — *Examen sans lentille.* — L'œil observé est hypermétrope. De cet œil, les rayons sortent comme s'ils partaient du punctum remotum. D'un autre côté, l'œil observateur, dont l'accommodation est au repos, ne peut voir que les objets placés à son punctum remotum. Il en résulte que si l'observateur voit nettement l'image droite, son punctum remotum coïncide avec celui de l'observé. La connaissance de l'un peut donc servir à déterminer l'autre; mais il faut tenir compte de la distance qui sépare les deux yeux, pour la retrancher de la distance de la myopie

de l'observateur, afin d'avoir le chiffre exact de l'hypermétropie de l'œil observé. En effet, les deux puncta remota coïncidant, l'hypermétropie de l'œil observé est indiquée par la distance du punctum remotum de cet œil à son point nodal, et la myopie de l'observateur est indiquée par la distance de son punctum remotum à son point nodal. L'hypermétropie de l'œil observé est donc égale à la myopie de l'observateur, moins la distance comprise entre les yeux de l'observateur et de l'observé.

b étant négatif, N = 0, *a* est positif. L'œil observé est hypermétrope. (Chap. XIV, 9e cas, équation 11.)

Avec le système duodécimal, l'hypermétropie de l'œil observé sera N′ — 2, et pour le système métrique,

$$\frac{20D'}{20 - D'}.$$

Exemple. — Un observateur, ayant une myopie de 8 pouces, perçoit nettement l'image droite à 2 pouces de distance et sans employer de lentille, quelle est l'hypermétropie de l'œil observé?

Elle est de 8 — 2 = 6.

Exemple. — Un observateur, ayant une myopie de 10 dioptries, n'a employé aucune lentille pour percevoir l'image droite. Quelle est l'hypermétropie de l'œil observé?

Elle est de

$$\frac{20 \cdot 10}{20 - 10} = \frac{200}{10} = 20 \text{ dioptries.}$$

Deuxième cas. — *Examen avec une lentille qui corrige la myopie de l'œil observateur.* — L'œil observé est emmétrope. De cet œil, les rayons sortent parallèles, et l'œil observateur qui a corrigé sa myopie par un verre concave, se trouve placé dans le cas de l'œil emmétrope. Il est apte à percevoir les rayons parallèles. Nous nous trouvons ici

dans les mêmes conditions que si l'observateur et l'observé étaient tous deux emmétropes.

Si, dans l'équation 1 du chapitre XIV, nous faisons $b = N$, a devient égal à l'infini. C'est ici le cas. La lentille N, qui corrige la myopie de l'observateur, a une distance focale égale à la distance de son punctum remotum. Le punctum remotum a de l'œil observé étant à l'infini, cet œil est emmétrope.

Troisième cas. — *Emploi d'une lentille concave, moins réfringente que le degré de la myopie de l'observateur.* — L'œil observé est hypermétrope. En corrigeant incomplètement sa myopie, l'observateur ne fait que reculer son punctum remotum, et si, après cette correction incomplète, il voit l'image droite, c'est que son punctum remotum a coïncidé avec le punctum remotum de l'œil observé. L'observateur étant myope, son punctum remotum est situé en avant, celui de l'œil observé se trouve donc en arrière puisqu'il coïncide avec celui de l'observateur.

b étant négatif et la lentille N employée par l'observateur, ayant une puissance moins réfringente que sa myopie, N est plus grand que b, a est positif. L'œil observé est hypermétrope. (Chap. XIV, 4e cas, équation 6.)

Le degré de l'hypermétropie de l'œil observé sera, pour le système duodécimal,

$$\frac{NN'}{N - N'} - 2,$$

et pour le système métrique,

$$\frac{20(D' - D)}{20 - (D' - D)}.$$

Exemple. — Un observateur, ayant une myopie de 10 pouces, a employé un verre concave 20, pour percevoir l'image droite. Quelle est l'hypermétropie de l'œil observé?

Elle est de

$$\frac{20 \cdot 10}{20 - 10} - 2 = 18.$$

Exemple. — Un observateur, dont la myopie est de 10 dioptries, a employé un verre concave de 6 dioptries, pour percevoir l'image droite. Quelle est l'hypermétropie de l'œil observé?

Elle est de

$$\frac{20(10 - 6)}{20 - (10 - 6)} = \frac{80}{16} = 5 \text{ dioptries}.$$

Quatrième cas. — *Emploi d'une lentille concave ayant une puissance réfringente supérieure à la myopie de l'observateur.* — L'œil observé est myope. Si l'observateur avait employé un verre qui eût corrigé sa myopie, il se serait placé dans les conditions de l'emmétropie et apte à percevoir des rayons parallèles. Mais si les rayons émanant de l'œil observé sont très convergents, l'observateur est obligé non seulement de corriger sa myopie, mais même d'employer un verre plus fort, pour voir le fond de l'œil observé.

b étant négatif et la lentille N employée par l'observateur ayant une puissance plus réfringente que le degré de la myopie, N est plus petit que b, a devient négatif. L'œil observé est myope. (Chap. XIV, 5e cas, équation 7.)

Le degré de la myopie de l'œil observé sera pour le système duodécimal,

$$\frac{NN'}{N' - N} + 2,$$

et pour le système métrique,

$$\frac{20(D - D')}{20 + (D - D')}.$$

Exemple. — Un observateur, ayant une myopie de

4 pouces, a employé un verre concave 2, pour percevoir l'image droite. Quelle est la myopie de l'œil observé?

Elle est de

$$\frac{4.2}{4-2} + 2 = 6.$$

Exemple. — Un observateur, ayant une myopie de 10 dioptries, a employé un verre concave de 20 dioptries, pour percevoir l'image droite. Quelle est la myopie de l'œil observé?

Elle est de

$$\frac{20(20-10)}{20+(20-10)} = \frac{200}{30} = 6,6\dot{6} \text{ dioptries.}$$

Cinquième cas. — *Emploi d'un verre convexe.* — L'œil observé est hypermétrope. En employant un verre convexe, l'œil myope augmente la réfringence de son œil, il devient plus myope et son punctum remotum se rapproche. Si, après l'emploi de ce verre, l'observateur a perçu l'image droite, c'est que son nouveau punctum remotum a coïncidé avec celui de l'œil observé. L'observateur étant myope, son punctum remotum, même avec l'emploi du verre convexe, est situé en avant de son œil. Celui de l'œil observé se trouve donc en arrière, puisqu'il coïncide avec celui de l'observateur.

b étant négatif, et N positif, *a* est aussi positif. L'œil observé est hypermétrope. (Chap. XIV, 3e cas, équation 4.)

Le degré de l'hypermétropie de l'œil observé est, pour le système duodécimal,

$$\frac{NN'}{N+N'} - 2,$$

et pour le système métrique,

$$\frac{20(D+D')}{20+(D+D')}.$$

Exemple. — Un observateur, ayant une myopie de 20 pouces, a employé un verre convexe 30, pour percevoir l'image droite. Quelle est l'hypermétropie de l'œil observé?

Elle est de

$$\frac{20 \cdot 30}{20 + 30} - 2 = 10.$$

Exemple. — Un observateur, ayant une myopie de 3 dioptries, a employé un verre convexe de 2 dioptries, pour percevoir l'image droite. Quelle est l'hypermétropie de l'œil observé?

Elle est de :

$$\frac{20(3+2)}{20+(3+2)} = \frac{100}{25} = 4 \text{ dioptries.}$$

BIBLIOGRAPHIE

Hugo Gerold, *Die ophthalmologische Physik*, t. II, p. 272. Vienne, 1870

Mauthner, *Lehrbuch der Ophthalmoscopie*, p. 160. Vienne, 1868.

Snellen et Landolt, *Handbuch*, t. III, p. 131.

De Wecker et Jœger, *Traité des maladies du fond de l'œil*, p. 2. Paris, 1870.

CHAPITRE XVII

OPHTHALMOSCOPES A RÉFRACTION

131. **Ophthalmoscopes à réfraction.** — Ainsi que nous l'avons vu dans le chapitre précédent, on peut déterminer la réfraction de l'œil observé par le procédé de l'image droite. L'observateur, connaissant la réfraction de son œil, détermine celle de l'œil observé par le numéro du verre qu'il emploie pour percevoir nettement l'image droite. Pour procéder à cet examen sans perte de temps, il faut qu'il ait à sa disposition un appareil qui lui fournisse rapidement une série de lentilles de différents numéros.

Les ophthalmoscopes à réfraction sont construits pour atteindre ce but. Ce sont des ophthalmoscopes mobiles, plans ou concaves, derrière lesquels on peut placer rapidement des verres convexes ou concaves de différents foyers. Cette rapidité dans le changement des verres n'est obtenue facilement qu'à l'aide du disque de Rekoss.

Les ophthalmoscopes à réfraction sont ceux de Loring, Knapp, De Wecker, Landolt, Badal, Gillet-Grandmont, Meyer, mais avant de les décrire, il nous faut dire ce qu'on entend par disque de Rekoss.

132. **Disque de Rekoss.** — La première modification apportée à l'ophthalmoscope d'Helmholtz consistait en

deux disques mobiles et excentriques par rapport à l'axe de l'instrument. Ces disques étaient, à leur périphérie, percés de trous, pouvant contenir des lentilles qu'on amenait successivement dans le champ de l'instrument. Cette modification ayant été imaginée et introduite par le mécanicien Rekoss, de Kœnigsberg, le disque reçut le nom de son inventeur; de là le nom de *Disque Rekoss,* donné au disque qui supporte les lentilles correctrices dans les ophthalmoscopes à réfraction.

Pour les instruments de ce genre, le disque de Rekoss est resté la forme la plus usitée, car c'est la forme qui permet de changer de verres le plus rapidement possible.

Beaucoup d'ophthalmoscopes à réfraction contiennent deux disques de Rekoss, afin d'obtenir, par leur combinaison, une plus grande série de verres positifs ou négatifs. Dans ce cas, les disques forment deux cercles sécants, se coupant de façon à ce que chacun de leurs orifices puisse venir coïncider avec le trou du miroir. La figure qui représente l'ophthalmoscope à réfraction du Dr Badal, donne une idée exacte de la position respective des deux disques de Rekoss.

Dans tous les ophthalmoscopes à réfraction, le disque de Rekoss possède une ouverture vide, c'est-à-dire non garnie de lentilles, afin de permettre l'examen de l'image renversée et celui de l'image droite, dans les cas où l'observateur n'a pas besoin de recourir à l'emploi de lentille. Nous avons vu, dans le chapitre précédent, quels étaient ces cas.

En France, l'expression *disque Rekoss* est peu employée. Nous l'avons signalée, car elle se trouve dans les auteurs allemands et dans quelques traductions françaises.

Pour la rapidité de l'examen, la multiplicité des disques, loin de constituer un avantage, est un inconvénient. Aussi les ophthalmoscopes les plus simples, tels que ceux de Wecker et de Landolt, sont-ils les plus répandus.

133. **Ophthalmoscope Loring.** — Le premier ophthalmoscope à réfraction de Loring fut présenté à la Société ophthalmologique américaine dans la session annuelle de 1869. Il était disposé suivant le système duodécimal. A la session annuelle de 1876, Loring a présenté son instrument *(fig. 70)*, disposé suivant le système métrique.

Le disque de Rekoss contient 24 verres, ayant 4 millimètres de diamètre. Les verres convexes vont de 1 à 9 dioptries; le verre de 8 dioptries faisant défaut. Les verres concaves vont de 1 à 18 dioptries, les verres 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16 et 17 dioptries faisant défaut.

Cette série de verres est très incomplète et, plus tard, M. Loring a construit son ophthalmoscope avec trois disques de Rekoss qui peuvent être introduits successivement. Ce remplacement des disques fait perdre du temps.

Fig. 70.

Ophthalmoscope à réfraction du Dr Loring.

134. **Ophthalmoscope Knapp.** — Comme celui de Loring, cet ophthalmoscope a subi des modifications. Il a été présenté à la Société ophthalmologique américaine en 1873; il était disposé suivant le système duodécimal. A la session de 1874, il était de nouveau présenté avec un seul disque de Rekoss contenant 23 verres de la même série. La troisième transformation a consisté dans l'application de

2 disques *(fig. 71)*. Le disque supérieur contient deux verres, l'un convexe + 5 et l'autre concave — 5. Le disque de Rekoss contient 8 verres concaves et 7 verres convexes.

Fig 71.

Ophthalmoscope à réfraction du Dr Knapp.

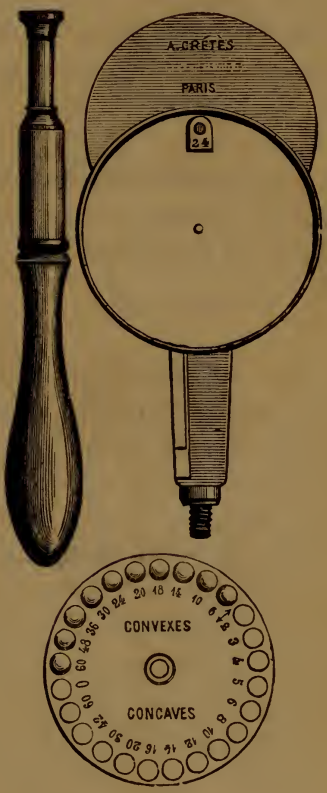
Cet ophthalmoscope est disposé suivant le système duodécimal, et un tableau est indispensable pour connaître rapidement le résultat obtenu par la combinaison des verres des deux disques. En l'absence de tableau ou de calculs faits à l'avance, on est obligé de faire soi-même ce travail, ce qui est assez long.

Au Congrès périodique international d'ophthalmologie (5me session), M. Knapp a présenté un ophthalmoscope à réfraction, disposé suivant le système métrique. Il n'y a qu'un disque contenant 32 lentilles : 16 positives et 16 négatives.

La plaque qui recouvre le disque est percée de trois ouvertures, placées verticalement. L'ouverture supérieure est vis-à-vis le trou du miroir et le verre du disque qui est employé. Les deux autres ouvertures servent à montrer le numéro de chaque verre employé, l'une en pouces et l'autre en dioptries.

135. Ophthalmoscope métrique de De Wecker. — L'ophthalmoscope à réfraction de M. L. de Wecker est le premier qui ait été construit suivant le système métrique. Cet ophthalmoscope se composait d'abord d'un miroir ordinaire, sur la face postérieure duquel se trouvait un disque muni d'ouvertures, dont une seule libre, *o*, et les autres garnies de verres convexes ou concaves, suivant que l'indique la fig. 72.

Fig. 72.



Ophthalmoscope métrique du Dr De Wecker.

Telle n'est plus aujourd'hui la disposition de cet instrument. Le disque, au lieu de contenir une série de verres convexes et concaves, n'a plus que des verres convexes d'une valeur de 0,5; 1; 1,5; etc., jusqu'à 10 dioptries, formant ainsi une progression arithmétique, dont la raison est 0,5.

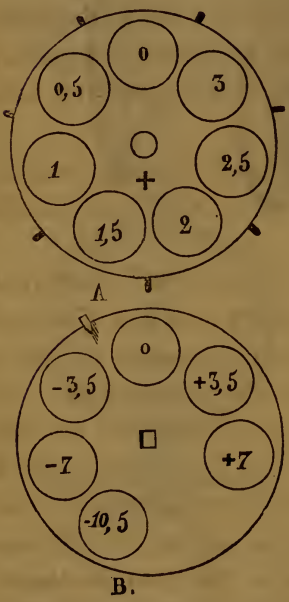
En tournant le disque, on fait passer devant l'œil une série de verres convexes. On peut obtenir une série de verres concaves, par l'addition d'une lentille qui, par un mouvement latéral, vient se placer devant l'ouverture entre le miroir et le disque. Cette lentille concave, — 10,5 dioptries, étant plus réfringente que celle maximum de la série des verres convexes, il en résulte une série négative. Ainsi, le verre concave restant fixe, on obtient par la rotation du disque, une

nouvelle série de — 0,05 à — 10,5, ce qui produit 41 numéros différents, sans aucun déplacement de l'instrument.

Cet ophthalmoscope métrique renferme une série de verres à intervalles réguliers de réfraction, tandis que les instruments qui l'avaient précédé présentaient des intervalles irréguliers et arbitraires. Cette disposition est très utile et très heureuse. Aussi a-t-elle été imitée dans tous les ophthalmoscopes qui ont été imaginés après celui de M. de Wecker.

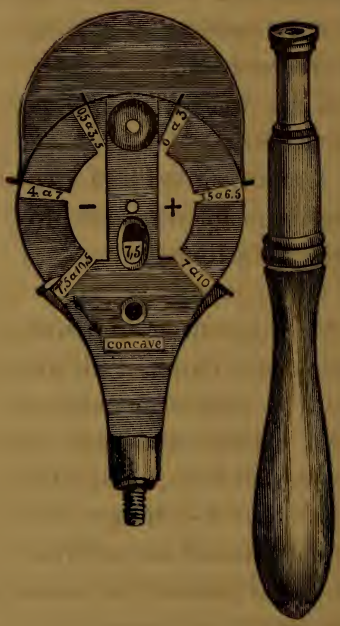
136. **Ophthalmoscope Landolt.** — Cet ophthalmoscope, disposé suivant le système métrique, se compose de 2 disques A et B *(fig. 73)*.

Fig. 73.



A, B, disques de l'ophthalmoscope à réfraction du Dr Landolt.

Fig. 74.



Ophthalmoscope à réfraction du Dr Landolt.

Le disque A contient 6 lentilles métriques positives

avec une ouverture O. Le disque B contient 5 lentilles : 2 convexes, 3 concaves et une ouverture vide.

En faisant tourner les deux disques autour de leur centre, on peut amener successivement toutes les lentilles derrière l'ouverture du miroir et obtenir ainsi quarante-deux combinaisons.

Comme l'ophthalmoscope de L. de Wecker, celui de M. Landolt donne deux séries : l'une positive, l'autre négative, allant de ± 0,50 à + 10 et — 10,5 dioptries. Chacune de ces séries forme une progression arithmétique dont la raison est 0,5 dioptries.

Un mécanisme approprié *(fig. 74)* fait toujours apparaître au-dessous des lentilles le numéro résultant de leur combinaison, de sorte qu'on n'a jamais besoin de faire des calculs pour chercher le résultat.

Une pareille disposition existe aussi dans l'ophthalmoscope de M. L. de Wecker. C'est un avantage que n'ont pas les ophthalmoscopes de Badal et Meyer que nous allons décrire.

Le miroir concave a 20 centimètres de foyer et 28 millimètres de diamètre. Le trou du miroir a environ 3 millimètres de diamètre.

« Notre ophthalmoscope, dit l'auteur, fournit 42 différents numéros de dioptries, sans que nous ayons besoin de remplacer les disques, comme dans l'ophthalmoscope Loring, et tout en ayant des verres plus grands et un disque plus petit que dans tout autre ophthalmoscope à réfraction. En effet, nous avons choisi des lentilles dont le diamètre est de 1 centimètre. Cela permet de les nettoyer plus facilement, mais surtout de se servir de l'instrument pour la détermination simultanée de la réfraction et de l'acuité visuelle. On enlève simplement le miroir, et l'instrument devient, dans la main du malade, un optomètre avec lequel il détermine le numéro des verres de lunettes qu'il lui faut, tout aussi bien qu'à l'aide des verres de nos boîtes d'essai. »

137. **Ophthalmoscope Badal.** — L'ophthalmoscope à réfraction de M. Badal *(fig. 75)* a deux disques superposés, de façon que chacune de leurs ouvertures puisse venir successivement se placer en regard de celle du miroir.

Le disque supérieur, percé de 6 ouvertures, a 3 centimètres de diamètre. Le disque inférieur, percé de 13 ouvertures, a 4 centimètres de iamètre. Par la rotation des disques autour de leur centre, on peut employer isolément chacune des lentilles ou les combiner deux à deux.

Les lentilles métriques contenues dans le disque supérieur, sont + 0,25; 0,50; 0,75; 13 et — 13. Les quatre premières sont positives et la dernière négative. Le disque inférieur contient 12 lentilles : 6 positives et 6 négatives.

Cet instrument peut fournir 78 combinaisons, et reproduit, à l'exception des numéros ± 20, tous les numéros des lentilles métriques, de ± 0,25 à ± 19. Le numéro résultant de la superposition de deux lentilles n'étant pas indiqué sur l'instrument, il faut que l'observateur en fasse le calcul.

Fig. 75.

Ophthalmoscope à réfraction du Dr Badal.

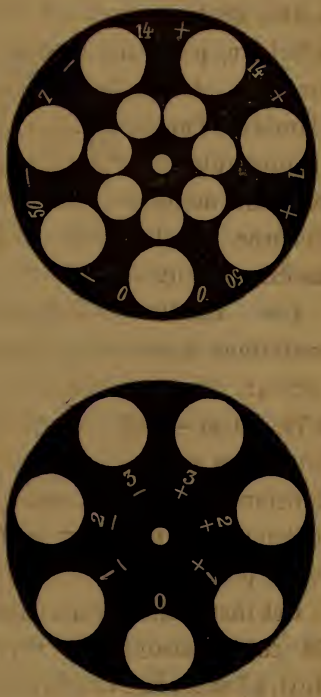
Comme l'a fait remarquer Knapp, les ophthalmoscopes à plusieurs disques sont inférieurs à ceux qui n'ont qu'un disque.

138. **Ophthalmoscope Meyer.** — Cet instrument se compose de deux miroirs réflecteurs (plan et concave) *(fig. 76)* et de deux disques superposés *(fig. 77)* qui contiennent

Fig. 76.

Ophthalmoscope à réfraction du Dr Meyer.

Fig. 77.



Disques de l'ophthalmoscope du Dr Meyer.

chacun 6 lentilles concaves et convexes, plus une ouverture vide. Le diamètre des lentilles est de 9 millimètres, les numéros indiquent leur force réfringente en dioptries.

Les disques tournent isolément ou ensemble sous la pression du doigt, appliqué sur le côté de l'instrument. La

rotation à droite fait apparaître successivement la série des verres convexes, la rotation à gauche, celle des verres concaves. A chaque changement de verre on lit le numéro produit, en additionnant les verres de même réfraction (jusqu'à 3,50, de 7 à 10 et de 14 à 17 dioptries) ou de réfractions opposées.

On obtient ainsi 42 numéros concaves et convexes depuis une demi-dioptrie jusqu'à 17 dioptries. Cette série représente tous les verres depuis 72 jusqu'à 2 1/4 de l'ancien numérotage.

Pour l'examen de l'image renversée, on se sert du miroir concave et de l'ouverture vide (O) des disques.

Pour l'image droite, et pour la détermination ophthalmoscopique de la réfraction, on emploie le miroir plan et on fait tourner les disques à droite pour obtenir la série des numéros convexes, à gauche pour les numéros concaves.

BIBLIOGRAPHIE

Badal, *Ophthalmoscope à réfraction.* (*Annales d'oculistique,* LXXVI, p. 242, 1876.)

Knapp, *Présentation d'instruments nouveaux.* (*Annales d'oculistique,* LXXII, p. 285, 1874; LXXIII, p 169, 1875.)

— *Description d'un nouvel ophthalmoscope.* (*Annales d'oculistique,* LXXV, p. 151, 1876.)

— *Ophthalmoscope métrique.* (*Annales d'oculistique,* LXXX, p. 178, 1878.)

Landolt, *Manuel d'ophthalmoscopie,* p. 86. Paris, 1878.

Loring, *Deux modifications apportées à l'ophthalmoscope.* (*Annales d'oculistique,* LXVII, p. 217, 1872.)

— *Sur les ophthalmoscopes établis d'après le système métrique.* (*Annales d'oculistique,* LXXVIII, p. 184, 1877.)

Wecker (L. de), *Ophthalmoscope métrique.* (*Annales d'oculistique,* LXXV, p. 150, 1876.)

CHAPITRE XVIII

—

OPTOMÈTRES

139. **Définition.** — Le mot *optomètre,* créé vers la fin du XVIIIe siècle par Porterfield, vient du mot grec ὄπτομαι, *voir,* et μέτρον, *mesure.* On désigne ainsi tout instrument destiné à déterminer les limites de la vision distincte, et on peut ajouter, à déterminer la réfraction de l'œil.

Les principes suivant lesquels sont établis les optomètres sont les suivants : 1° division artificielle des cercles de diffusion, optomètres de Scheiner (104), de Stampfer (105); 2° achromatisme de l'œil : optomètre de Helmholtz; 3° minimum des angles de perception distincte : lunette de Galilée et la plupart des optomètres.

Nous ne décrirons ici que les optomètres qui ont pour base le minimum des angles de perception distincte.

Les optomètres constituent, quand ils sont bien disposés, le moyen le plus commode de déterminer la réfraction de l'œil, puisqu'il suffit d'interroger le malade, recueillir ses réponses et lire sur une règle graduée la valeur de la réfraction de son œil.

140. **Optomètre de Burow.** — « Cet appareil se compose d'une lentille, dont on a évalué très exactement la distance focale et d'une page de caractères photographiés, que l'on peut éloigner à volonté de la lentille; un indicateur donne

la distance entre le caractère et le centre optique de la lentille, à un dixième de ligne près. »

Telle est la description que nous trouvons dans les *Annales d'oculistique*. Malgré ce laconisme, on comprend très bien qu'il s'agit ici d'une lentille, placée devant l'œil, dans les conditions de la loupe. Tous les calculs relatifs à cet optomètre peuvent être déduits de ceux que nous avons donnés (page 204), à propos du grossissement de la loupe. Il est donc inutile de les reproduire de nouveau, d'autant plus que cet optomètre ne donne pas des résultats précis et nécessite, pour chaque cas, des calculs particuliers.

141. **Optomètre de De Graefe.** — L'optomètre de De Graefe n'est autre chose que la lunette de Galilée, dont le tirage peut être porté au delà de la différence des distances focales des deux lentilles. L'objectif est un verre convexe de 8 pouces. Les oculaires, au nombre de trois, peuvent être employés successivement. Ces oculaires ont pour distance focale 8, 3,5, et 2 pouces.

Le malade regarde un objet à travers cet instrument et il approche ou éloigne les verres jusqu'à ce qu'il parvienne à le distinguer nettement. On calcule alors la réfraction de son œil, étant connus le foyer de chaque lentille et la distance qui les sépare. Tous ces calculs, ainsi que la théorie de cet instrument, ayant été exposés (page 238, 12e cas), il est inutile de les reproduire.

Plus tard De Graefe, a approprié cet instrument à la vision binoculaire, en lui donnant la forme d'une jumelle d'opéra. Il y a pour chaque œil deux oculaires, qu'on peut changer à volonté, l'un pour la myopie et l'autre pour l'hypermétropie.

MM. Snellen et Landolt ont utilisé l'idée de De Graefe et fait construire un optomètre binoculaire fondé sur le principe de la lunette de Galilée. Cet instrument se compose, comme la jumelle d'opéra, de deux appareils.

L'objectif, convexe, a 2 pouces de foyer, et l'oculaire, concave, 1 pouce. Par l'écartement entre les deux lentilles, on peut obtenir tous les degrés de réfraction depuis — 1/2, jusqu'à + 1/2, c'est-à-dire, depuis le plus haut degré de myopie, jusqu'à l'hypermétropie la plus grande.

Avec tous ces optomètres, le grossissement des images obtenues varie avec la distance entre les deux lentilles. C'est là un grave inconvénient. Pour y remédier, De Graefe faisait regarder des objets d'autant plus petits, que le grossissement, procuré par l'instrument, était plus grand. Malgré toutes ces précautions, cet instrument s'est peu vulgarisé.

Quel est le grossissement procuré par cet instrument, ou par la lunette de Galilée? C'est ce qu'il nous faut examiner, car tous les auteurs ne sont pas unanimes sur cette question.

142. **Grossissement de la lunette de Galilée.** — Presque tous les traités de physique admettent que le grossissement procuré par cet instrument est à peu près égal au rapport entre les distances focales de l'objectif et de l'oculaire. S'il en était ainsi, le grossissement serait à peu près constant pour tous les degrés d'écartement entre l'oculaire et l'objectif. Cette évaluation est inexacte; il suffit, pour s'en convaincre, de faire l'expérience avec une jumelle d'opéra. On verra que le grossissement augmente au fur et à mesure qu'on écarte les lentilles, et cela jusqu'à ce que l'écart entre les deux lentilles ait surpassé la différence de leurs distances focales. A partir de ce moment, l'écart continuant, le grossissement diminue.

M. Giraud Teulon donne pour ce grossissement une formule plus exacte :

$$\frac{F}{F - x}.$$

Telle est l'équation de M. Giraud Teulon pour la valeur

du grossissement. F désigne la distance focale de l'objectif, et x la distance entre les deux lentilles; l'objet fixé est supposé placé à l'infini. D'après cette équation, le grossissement irait toujours en augmentant au fur et à mesure que l'on éloignerait l'oculaire de l'objectif, et il atteindrait son maximum quand x égalerait F; puis x devenant plus grand que F, le grossissement diminuerait d'autant plus que x grandirait. L'auteur a résumé sa pensée dans les lignes suivantes : « Dans l'optomètre de Graefe, la grandeur de l'image varie d'une manière continue avec l'écartement des verres et dans le même sens : l'image augmentant avec le degré de l'hyperopie, diminuant avec celui de la myopie. »

Cette opinion est trop absolue. Nous admettons que l'image va augmentant au fur et à mesure que la myopie diminue, qu'on écarte les verres et que x grandit. Pour l'hypermétropie, nous n'admettons pas que le même phénomène se produise, car l'image va en diminuant au fur et à mesure que l'hypermétropie augmente et que l'écartement entre les verres grandit. Pour l'hypermétropie, il y a cependant une restriction à faire, c'est que le grossissement ne va pas en diminuant à partir de l'emmétropie, mais à partir d'un certain degré d'hypermétropie.

Comment faut-il calculer le grossissement de la lunette de Galilée? En comparant l'angle sous lequel l'objet est vu à l'aide de l'instrument, avec l'angle sous lequel l'objet serait vu à l'œil nu, le rapport entre les tangentes de ces deux angles constitue le grossissement; il est, en supposant l'objet situé à l'infini,

$$\frac{MN}{(M-d)N+(M-N-d)x},$$

M désignant le foyer de l'objectif, N celui de l'oculaire,

d, la distance entre les deux lentilles, et x, la distance de l'œil à l'oculaire.

Ainsi que nous l'avons vu (page 239), tant que $d < M - N$, b est négatif, c'est-à-dire que cette valeur de d convient à la détermination des différents degrés de myopie. Quand $d = M - N$, les rayons sortent parallèles de l'instrument, l'emmétrope seul peut percevoir les objets, lorsque les lentilles offrent cet écart. Quand d est plus grand que $M - N$, les rayons sortent en convergeant et l'hypermétrope seul peut les percevoir.

Ceci dit, considérons maintenant notre équation. Quand d, partant de o, augmente, le grossissement augmente; plus d grandit, plus la myopie de l'observé diminue. Le grossissement est donc en raison inverse du degré de la myopie.

Quand $d = M - N$, ce qui est le cas pour l'œil emmétrope, le grossissement devient

$$\frac{M}{N},$$

c'est-à-dire égal au rapport entre les distances focales des deux lentilles. Ce grossissement n'est pas le grossissement maximum, il augmente encore.

Quand d est plus grand que la différence $M - N$, ce qui est le cas pour les yeux hypermétropes, les signes de notre équation doivent être changés et l'on a alors

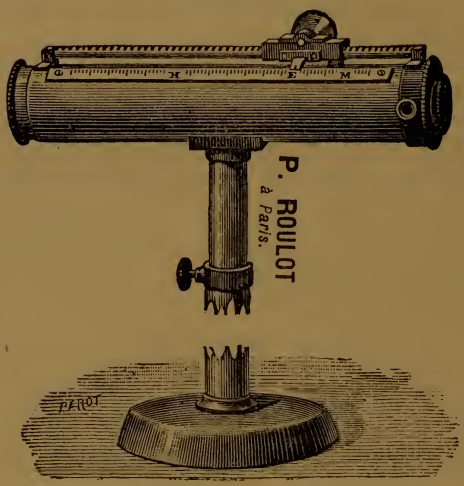
$$\frac{MN}{(d - M)N + (d - M + N)x}.$$

Plus d grandit, plus le grossissement diminue, et d grandit d'autant plus que l'hypermétropie est plus forte; l'image est donc en raison inverse du degré de l'hypermétropie. Mais dans la position comprise entre $d M = -N$ et $d = M$, l'image grandit toujours; cette image atteint

son maximum quand $d = M$. En effet si, dans chaque équation, nous faisons $d = M$, le grossissement devient M, en ne tenant pas compte de la distance de l'œil à l'oculaire.

143. **Optomètre de Perrin.** — L'optomètre de M. Perrin est une lunette de Galilée retournée, car l'oculaire est convexe et l'objectif concave.

Fig. 78.



Optomètre de Perrin.

Cet optomètre se compose *(fig. 78)* d'un tube cylindrique dont l'une des extrémités est munie d'un objet dessiné sur verre noirci et destiné à être vu par transparence et dont l'autre extrémité est munie d'une lentille convergente qui sert d'oculaire. Dans l'intérieur, se trouve une lentille concave, qui peut, à l'aide d'une crémaillère, occuper toutes les positions comprises entre l'oculaire et la plaque de verre. La glissière qui entraîne la lentille concave, porte un index, qui affleure une règle graduée, destinée à donner l'évaluation du degré de réfraction.

Le tube a 6 pouces de long; la lentille convexe, 3 pouces de foyer, et la lentille concave, 1 pouce 1/2.

Comme tous les instruments où les deux lentilles varient de position, l'une vis-à-vis de l'autre, cet instrument a l'inconvénient de donner des images d'inégale grandeur. Tantôt les images sont très petites et tantôt elles sont agrandies. C'est là un écueil qu'il est impossible d'éviter, mais qui n'en est pas moins fâcheux pour des observations rigoureuses.

L'auteur admet que lorsque la lentille concave est aux deux extrémités de l'instrument, soit en contact avec la plaque de verre, ou avec la lentille concave, le grossissement est $\frac{1}{6}$. Je ne partage pas cette opinion. En effet, prenons le cas où la lentille concave est en contact avec l'oculaire.

L'oculaire et l'objectif étant en contact, forment ensemble l'équivalent d'une lentille concave 3, car l'oculaire est + 3, et l'objectif — 1,5. En effet, on a

$$\frac{1}{3} - \frac{1}{1,5} = -\frac{1}{3}.$$

La plaque de verre ou l'objet dont il s'agit d'avoir le grossissement, est, dans ce cas, situé à 6 pouces des deux lentilles accolées, dont le foyer négatif est à 3 pouces, et l'on a pour le grossissement, suivant la formule donnée (page 201), $\frac{1}{3}$ et non pas $\frac{1}{6}$.

$$\frac{3}{6+3} = \frac{1}{3}.$$

144. **Optomètre Badal.** — L'optomètre Badal se compose d'un tube cylindrique, dans lequel se trouve une lentille convexe et fixe. Un second cylindre portant une plaque de verre, sur laquelle sont gravés des signes et des lettres, glisse dans le premier et permet d'approcher ou d'éloigner de la lentille la plaque de verre.

Si l'œil est appliqué contre l'œilleton de l'instrument, son point nodal coïncide avec le foyer de la lentille, et nous nous trouvons alors dans le cas que nous avons examiné pour le grossissement de la loupe (page 208). Mais dans la pratique, les malades placent l'œil à quelques millimètres de l'œilleton, et alors les données sur lesquelles se base M. Badal sont erronées.

M. Giraud Teulon a mieux compris le système de cet optomètre en le rattachant au système Bravais. Dans tout système Bravais, la distance entre les deux lentilles est égale à la somme de leurs distances focales. Les malades examinés par cet optomètre se placent, sans s'en douter, dans les conditions de ce système. En effet, le foyer de la lentille coïncidant avec l'œilleton de l'instrument et les malades plaçant l'œil environ 13 millimètres en arrière, il en résulte que la distance entre l'œil de l'observé et la lentille devient égale à la somme des distances focales de la lentille et du foyer antérieur de l'œil. Ce qui constitue le système Bravais.

Dans le système Bravais, si l'on désigne par l la distance de l'objet au foyer antérieur du premier système, par l' la distance de son image au foyer postérieur du second, on a, le second système étant ici l'œil,

$$l' = \frac{l \cdot \varphi' \varphi''}{f^2}.$$

f étant la longueur focale de la lentille, et φ', φ'', les longueurs focales principales, antérieure et postérieure de l'œil.

D'un autre côté, d'après Donders, une lentille L étant placée au foyer antérieur de l'œil et corrigeant une amétropie donnée, l'image d'un objet situé à l'infini est distante du foyer postérieur de l'œil, d'une quantité égale à

$$\frac{\varphi' \varphi''}{L}.$$

En remplaçant, dans l'équation précédente, l' par cette valeur, il vient, après élimination de $\varphi' \varphi''$,

$$\frac{1}{L} = \frac{l}{f^2}.$$

Dans le système métrique (113) $\frac{1}{L}$ désigne le nombre de dioptries. Si l'on fait successivement $\frac{1}{L}$ égale 1, 2, 3, etc. dioptries, l deviendra successivement l, $2l$, $3l$, etc. La distance de l'objet au foyer principal antérieur de la lentille donnera donc des intervalles égaux de réfraction. Cet intervalle est de 4 millimètres dans l'optomètre Badal, car la lentille a une distance focale de 63 millimètres, dont le carré est de 4 millimètres environ (3,969).

Telle est la manière dont fonctionne cet optomètre. S'il fonctionnait comme le croit son auteur, la graduation ne serait pas convenable et les données obtenues ne seraient pas exactes. Il faut donc, quand on emploie cet instrument, surveiller la position de l'œil examiné. Si le malade ne pose pas son œil à 13 millimètres en arrière de l'œilleton, les réponses sont sujettes à varier d'un moment à l'autre et les résultats obtenus sont entachés d'une erreur plus ou moins grande.

L'influence des variations de la distance de l'œil à l'œilleton de l'instrument n'est pas le seul inconvénient de cet optomètre. Quand l'œil est placé au niveau de l'œilleton, il y a un autre inconvénient, c'est la variation dans le grossissement des images obtenues. Nous avons insisté sur ce fait (pages 208 et 209), en étudiant l'influence des variations de l'accommodation sur le grossissement des images.

C'est là un inconvénient sérieux, car les malades qu'on examine font toujours intervenir plus ou moins leur accommodation, de là des réponses contradictoires à quelques minutes d'intervalle. Cet instrument ne fournit la mesure

de la réfraction qu'en fonction de l'accommodation, c'est-à-dire la mesure d'un état fixe en fonction d'une quantité variable. Pour obtenir la mesure de la réfraction, il faudrait de toute nécessité paralyser au préalable l'accommodation. Avec cet instrument, le médecin est donc à la disposition du malade. C'est ce que M. Warlomont a reconnu dans un rapport lu à l'Académie de Médecine de Belgique. « Il faut néanmoins, dit-il, rencontrer chez le sujet observé la dose voulue de sincérité et d'intelligence, qui ne se rencontre pas toujours, surtout devant les conseils de milice ou de révision. »

145. **Optomètre Loiseau.** — L'optomètre Loiseau est le plus simple et le plus commode de tous les optomètres. Sa longueur maximum est de 14 centimètres et l'instrument ne pèse que 250 grammes, tout compris, l'écrin et les pièces de rechange.

Dans ses leçons sur les maladies des yeux, M. Landolt avait proposé de déterminer la réfraction et l'acuité visuelle, en ramenant le punctum remotum des yeux à un même degré d'éloignement. D'un autre côté, M. Giraud Teulon avait signalé et démontré qu'une lentille convexe, placée au foyer antérieur de l'œil, c'est-à-dire à 13 millimètres de la cornée, communiquait à l'œil une myopie axile. Avec cette myopie artificielle, le foyer postérieur de l'œil s'avance d'une quantité η, que nous connaissons (85). Telles sont les connaissances qui ont servi de point de départ à l'optomètre de M. Loiseau.

Cet optomètre consiste en un tube de 9 centimètres environ de longueur, ouvert à son extrémité pour éclairer par transparence une plaque de verre qui contient une réduction photographique des deux planches de l'échelle métrique de M. de Wecker. Cette plaque de verre est placée dans un second tube, qui glisse à frottement dans le premier. Quand le second tube est complètement

enfoncé dans le premier, la plaque de verre se trouve à 5 centimètres de distance des lentilles.

L'une des extrémités du tube est munie de deux disques de Rekoss, analogues à ceux des ophthalmoscopes à réfraction. L'un de ces disques contient 11 lentilles convexes de + 5 à + 15 dioptries, et l'autre, les lentilles + 10, +20, — 10 et + 0,50 dioptries.

La plaque de verre étant placée à une distance donnée, 5 ou 10 centimètres, le verre + 20 ou + 10 correspond à l'emmétropie. L'observé cherche le verre le plus fort, puis le verre le plus faible, qui permettent la lecture des plus petits caractères.

Supposons que la plaque de verre ait été placée à 10 centimètres de distance, et que l'observé ait employé les numéros 15 dioptries et 5,5 dioptries. Son punctum remotum sera 15 — 10 = 5 dioptries. Ce qui sera aussi le degré de son hypermétropie. L'amplitude de son accommodation sera la différence entre le verre le plus fort et le plus faible, 15 — 5,5 = 9,5 dioptries.

La myopie se calcule de même.

La théorie de cet optomètre est facile à comprendre. Si la plaque de verre est placée à 10 centimètres de la lentille, et que le malade lise bien avec la lentille + 10 dioptries, son œil est emmétrope; car les rayons émanés de la plaque de verre, qui est placée au foyer de la lentille, sortent de la lentille à l'état de parallélisme, or un œil emmétrope peut seul réunir ces rayons sur sa rétine.

Si l'œil est myope de 2, 3, 4 dioptries, il n'aura besoin que d'une lentille 8, 7, 6 dioptries. La myopie sera donc calculée en retranchant du numéro 10, le numéro de la lentille choisie par le malade.

Si l'œil est hypermétrope de 2, 3 ou 4 dioptries, il aura besoin d'une lentille additionnelle de 2, 3, 4 dioptries pour voir nettement les caractères dessinés sur la

plaque de verre. Son hypermétropie sera donc calculée en retranchant 10 du numéro de la lentille qu'il a choisie.

Cet optomètre donne des images d'une grandeur constante, car la lentille étant placée au foyer antérieur de l'œil, le système combiné, œil et lentille, ainsi que l'a démontré M. Giraud Teulon, se trouve avoir les mêmes distances focales que l'œil lui-même.

L'optomètre de M. Loiseau est le seul qui donne la mesure exacte de l'acuité de la vision. Ceux de Graefe, Perrin, Badal n'ont pas le même avantage. Dans les optomètres de Graefe et Perrin, la grandeur de l'image varie avec le déplacement des lentilles. Il en est de même avec celui de M. Badal, où l'influence de l'accommodation et les variations de la distance de l'œil observé à l'œilleton de l'instrument, occasionnent des modifications dans la grandeur de l'image.

Pour le calcul de la dimension à donner aux caractères sur la plaque qui sert de mire, M. Loiseau s'est servi de la formule que nous avons donnée (page 170).

$$\frac{O}{I} = \frac{l}{F}.$$

I étant la grandeur de l'image sur la rétine, l la distance de la plaque d'épreuve au foyer antérieur du système, ici cette distance est égale à la distance de la plaque à la lentille, et F est la distance focale antérieure du système, ici 15 millimètres. Pour que l'acuité soit 1, M. Loiseau veut que l'image rétinienne soit égale à $0^{mm}0045$, c'est-à-dire à celle d'un bâtonnet de la rétine. Je crois qu'en théorie cela est exact, mais en pratique, pour avoir une donnée moyenne, je suis d'avis qu'il faudrait prendre un chiffre plus élevé.

146. **Optomètre de Wecker.** — Pour déterminer la réfraction d'un œil d'après la méthode de Donders, on place le

malade en face d'une échelle typographique, à la distance de 5 à 6 mètres, et on essaie les verres convexes ou concaves qui facilitent le mieux la lecture. Ce procédé exige une collection complète de verres d'essai et fait perdre du temps à cause du déplacement continuel des verres.

Pour remédier à cet inconvénient, M. de Wecker a fait construire son optomètre, qui se compose de deux roues, une contenant les verres convexes et l'autre les verres concaves. Avec cet instrument, on peut faire passer rapidement, devant l'œil du malade, une série de verres de différents foyers.

L'ophthalmomètre à réfraction du même auteur pourrait être aussi employé dans le même but.

147. **Procédé optométrique de l'auteur.** — Depuis longtemps, j'emploie le procédé suivant pour déterminer non pas l'acuité de la vision, mais seulement la réfraction. Ce moyen, qu'on pourrait perfectionner, est excessivement simple et pratique.

Sur une monture de lunettes, je place un verre convexe d'un foyer assez court et je fais chercher au malade la distance maximum, à laquelle il peut lire nettement de petits caractères, le numéro 1 de l'échelle typographique de Jœger ou de l'échelle métrique de M. de Wecker, par exemple. Étant connue cette distance et la distance focale de la lentille, j'en déduis la valeur de la réfraction de l'œil observé. Voici comment.

Je considère la lentille employée comme formée par la réunion de deux lentilles et je considère la distance à laquelle le malade place le livre, comme représentant la distance focale de la première de ces lentilles. En désignant ces deux lentilles fictives par D' et D'', la lentille D, que j'emploie, est la somme de ces deux lentilles, et l'on a

$$D = D' + D'' \qquad \text{et} \qquad D' = D - D''.$$

Or, si sur ces trois quantités, j'en connais deux, la lentille employée D, et l'une des lentilles fictives D″, puisque j'ai considéré la distance à laquelle le malade place le livre comme en représentant la distance focale; il sera facile de reconnaître la valeur de la seconde lentille D′, qui est précisément égale à l'amétropie de l'œil observé.

Quand nous avons étudié la réfraction à travers un système de deux lentilles, nous avons posé l'équation suivante (équation 1, page 235).

$$\frac{1}{a+d}+\frac{1}{b}=\frac{1}{N}.$$

Si le point C *(fig. 68)* est situé au foyer de la première lentille M, les rayons sortent parallèles de cette lentille, et le point $a=\infty$; d'un autre côté, si les lentilles M et N sont juxtaposées, la distance qui les sépare est nulle, et $d=0$. L'équation ci-dessus devient

$$b=N.$$

b égale N et de même signe. Si *b* est négatif, N est négatif et *vice versâ*. Or, qu'est-ce que tout cela appliqué à notre cas? *b* est le punctum remotum de l'œil observé, N, le foyer de la seconde lentille employée, la distance focale de notre seconde lentille fictive D′. La distance *c* de l'objet à la lentille, c'est la distance focale de notre première lentille fictive D″, et la somme de ces deux lentilles fictives D′ et D″, c'est la lentille que nous avons employée.

Rien de plus facile que d'avoir à sa disposition un moyen aussi commode de mesurer la réfraction. Dans tous les écrins d'ophthalmoscope, il y a une lentille convexe à court foyer, il suffit d'en déterminer exactement la distance focale; cette distance focale connue, on peut rapidement déterminer le nombre de dioptries de cette lentille, ainsi que nous l'avons indiqué (113).

Pour déterminer le nombre de dioptries de la première lentille fictive, on divise 100 par le nombre de centimètres exprimant la distance à laquelle le livre a été placé lors de l'expérience.

Des exemples suffiront pour bien faire saisir notre procédé.

Exemple. — L'œil muni d'une lentille + 20 dioptries, la plus grande distance à laquelle un malade a pu lire le numéro 1 de l'échelle typographique de Jœger, est 5 centimètres. Quelle est la réfraction de cet œil?

100 divisé par 5 centimètres = 20 dioptries; la première lentille fictive est donc de 20 dioptries. La lentille employée est aussi de 20 dioptries. Nous avons

$$D' = D - D'' = 20 - 20 = 0.$$

L'œil est emmétrope.

Exemple. — L'œil armé d'une lentille convexe de 20 dioptries, le malade n'a pu lire qu'à une distance maximum de 4 centimètres; quelle est la réfraction de son œil?

100 divisé par 4 = 25. La première lentille fictive est donc de 25 dioptries. La lentille employée étant de 20 dioptries, nous avons

$$D' = D - D'' = 20 - 25 = -5.$$

L'œil observé a une myopie de — 5 dioptries.

Exemple. — L'œil armé d'une lentille convexe de 20 dioptries, un malade a éloigné le livre jusqu'à une distance maximum de 8 centimètres. Quelle est la réfraction de son œil?

100 divisé par 8 = 12,50. Telle est la valeur de notre première lentille fictive. La réfraction de cet œil sera

$$20 - 12{,}50 = +7{,}50.$$

une hypermétropie de 7 dioptries 50.

On peut, en changeant de lentilles, se livrer à plusieurs expériences et contrôler ainsi le dire du malade, ce qui a une grande importance, quand on doute de la sincérité de ses réponses, car il pourrait se faire qu'un malade eût, pour une raison ou pour une autre, tendance à diminuer la distance à laquelle il doit placer son livre pour obtenir une bonne lecture.

148. **Réflexions.** — Tous les optomètres, en plaçant près de la lentille l'objet à examiner, ont l'inconvénient de mettre en jeu une certaine action de l'accommodation. La méthode de Donders est sans doute la meilleure pour déterminer à la fois la réfraction et l'acuité de la vision, parce que plaçant à grande distance l'objet à examiner, elle met l'accommodation au repos. Cependant cette méthode a le désagrément d'exiger une assez grande perte de temps et elle exige une collection complète de lentilles

L'optomètre de M. de Wecker facilite beaucoup l'examen suivant la méthode de Donders, et je pense qu'on pourrait perfectionner cet instrument de la façon suivante.

L'objet à examiner serait placé à 3 mètres. A cette distance, l'accommodation n'aurait pas une grande influence. Une lentille de $\frac{1}{3}$ dioptrie, ou de 3 mètres de distance focale, serait fixée à l'instrument, et sur cette lentille pourraient venir se juxtaposer toutes les lentilles de l'optomètre de M. de Wecker. La réfraction de l'œil observé, placé à 13 ou 14 millimètres de cette dernière lentille, serait indiquée par le numéro de cette lentille.

Nous n'avons pas besoin de faire la démonstration de notre assertion, car elle résulte de ce que nous avons dit dans le paragraphe précédent.

En effet, l'objet visé étant situé à 3 mètres de la lentille fixe, ayant pour distance focale $\frac{1}{3}$ de dioptrie, serait placé au foyer de cette lentille. La lentille additionnelle qui per-

mettrait au malade la lecture de l'objet visé, indiquerait le degré et la nature de la réfraction de son œil.

L'instrument installé dans ces conditions permettrait d'obtenir l'acuité de la vision, qui serait égale à l'unité divisée par le nombre de millimètres du caractère lu par le malade. Ainsi, si le caractère lu avait 1, 2, 3, etc., millimètres, l'acuité serait 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, etc.

En prenant 5 millièmes de millimètre pour la grandeur de l'image rétinienne qui correspond à l'unité de l'acuité de la vision, nous avons, pour calculer quelle doit être la grandeur de l'objet, la formule donnée (page 170)

$$\frac{O}{I} = \frac{l}{F}.$$

L'œil se trouvant placé à 13 ou 14 millimètres de la lentille, cette lentille se trouve au foyer antérieur de l'œil, et le système résultant de cette combinaison, œil et lentille, a, dans cette condition, pour foyer principal antérieur, le foyer principal antérieur de l'œil, qui est de 15 millimètres. La distance l, de l'objet au foyer antérieur du système, est de 3 mètres ou 3,000 millimètres. On a donc pour la grandeur de l'objet O,

$$O = \frac{3000 \times 0{,}005}{15} = \frac{15}{15} = 1 \text{ millimètre.}$$

Ainsi se trouve démontrée notre proposition. Nous avons à dessein pris un chiffre plus élevé pour la grandeur de l'image rétinienne, car nous pensons que le chiffre généralement adopté de 0,0045 est trop faible comme moyenne en pratique ordinaire.

BIBLIOGRAPHIE

Badal, *Optomètre métrique* (*Annales d'oculistique*, LXXV, p. 101, 1876.)

Burow, *Un nouvel optomètre.* (*Annales d'oculistique*, LV, p 151, 1866.)

Giraud Teulon, *Nouvel optomètre.* (*Annales d'oculistique*, LXXV, p. 5, 1876.)

Graefe, *Optomètre binoculaire.* (*Annales d'oculistique*, LVII, p. 180, 1867.)

Landolt, *Leçons sur le diagnostic des maladies des yeux*, (p. 133, Paris, 1877.)

Loiseau, *Un procédé optométrique.* (*Archives médicales belges*, déc. 1877.)

— *Optomètre métrique.* (*Bulletin de l'Académie de Belgique*, p. 736, 1878.)

Perrin, *Mémoire sur un nouvel optomètre.* (*Annales d'oculistique*, LXII, p. 5, 1869.)

Snellen et Landolt, *Handbuch*, III, 80.

Warlomont, *Rapport sur l'optomètre métrique de Loiseau.* (*Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, p. 672, 1878.)

De Wecker, *Optomètre.* (*Annales d'oculistique*, LXXVII, 180, 1877.)

CHAPITRE XIX

PRISMES

149. **Définitions.** — En optique, un prisme est un milieu transparent limité par des surfaces planes et inclinées l'une sur l'autre. L'intersection de ces deux surfaces planes est une ligne droite, qu'on appelle l'*arête* du prisme. L'angle dièdre compris entre ces deux surfaces est l'*angle réfringent* du prisme. Cet angle est désigné par sa valeur en degrés et ce nombre de degrés est aussi le numéro du prisme. Ainsi un prisme, ayant un angle réfringent de 18°, est dit quelquefois un prisme n° 18.

La *section principale* d'un prisme est la section perpendiculaire à l'arête. C'est par leur section principale que les prismes sont représentés dans toutes nos démonstrations. Les prismes étant triangulaires, leur section principale est un triangle. Dans cette section *(fig. 79),* P est le sommet du prisme, et AB sa base.

On appelle *angle de déviation*, l'angle *l'al*, formé par le rayon incident *la (fig. 79)* et par le prolongement *l'a* du rayon réfracté *ae*.

150. **Action des prismes.** — Les prismes dévient vers leur base les rayons qui les traversent. Ainsi, dans la figure 79, le rayon *ld* prend la direction *ae*. Après réfraction, il se rapproche de la base AB du prisme. Mais l'observateur placé en arrière du prisme rapporte l'objet *l* en *l'*, vers le

sommet. L'image de l'objet est donc déviée vers le sommet du prisme.

Les prismes décomposent la lumière à cause de l'inégalité de réfringence des divers rayons colorés qui composent le spectre. En ophthalmologie, on emploie de préférence les prismes en crown glass, de manière à éviter autant que possible la décomposition de la lumière et, de plus, on ne se sert que de prismes dont l'angle réfringent est peu élevé.

C'est plus particulièrement comme agents de déviation des images, que les prismes ont été employés pour l'examen de l'œil, et c'est à ce titre que nous les étudierons dans les divers cas où ils ont été conseillés.

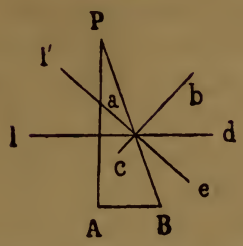
Quand les deux yeux fixent un objet et que l'un d'eux est armé d'un prisme, il y a diplopie binoculaire. L'objet est vu double, car l'œil, non couvert de prisme, voit l'objet où il est, et l'autre, armé d'un prisme, voit l'objet dévié vers le sommet du prisme et dans une position autre que celle qu'il occupe. Ce phénomène de la production de la diplopie binoculaire par les prismes est, dans certains cas, très souvent utilisé en ophthalmologie, comme élément de diagnostic.

151. **Relation entre l'angle de déviation du prisme et son angle de réfringence.** — L'angle de déviation d'un prisme est environ la moitié de son angle réfringent.

Le rayon lumineux *(fig. 79)*, perpendiculaire à la face A P du prisme, ne subit aucune déviation. Rencontrant la face oblique P B, il sort du prisme, en passant du verre dans l'air, c'est-à-dire d'un milieu plus réfringent dans un milieu moins réfringent. Ce rayon lumineux *la* fait avec la normale *bc*, un angle *lac*, égal à l'angle de réfringence P du prisme, ces deux angles ont leurs côtés perpendiculaires chacun à chacun. Passant dans l'air, le rayon s'écarte de la normale pour former l'angle de réfraction *bae*, et l'œil, placé dans la direction *ea* du rayon réfracté,

voit en l' le point lumineux l. L'angle $l'al$ est l'angle de déviation.

Fig. 79.



A B P, prisme rectangulaire en A.— P, son angle réfringent.— ld, rayon lumineux. bc, normale au point d'incidence a. — el', direction du rayon réfracté.

Quel est le rapport entre cet angle de déviation $l'al$ et P, celui du prisme?

Nous avons, l'indice de réfraction du verre dans l'air étant $\frac{2}{3}$,

$$\frac{\text{Sin. } lac}{\text{Sin. } bae} = \frac{2}{3}.$$

L'angle lac est égal à l'angle P. L'angle bae est égal à la somme des angles bad et dce. L'angle bad égale l'angle lac, comme opposé par le sommet, et l'angle dae égale $l'al$, par la même raison. Substituant ces valeurs dans l'équation précédente, il vient :

$$\frac{\text{Sin. P}}{\text{Sin. (P} + l'al)} = \frac{2}{3}.$$

Les angles étant très petits, on peut les substituer à leurs sinus, ce qui nous donne pour l'angle de déviation $l'al$,

$$l'al = \frac{\text{P}}{2}.$$

L'angle de déviation est donc la moitié de l'angle de réfringence du prisme, pourvu que ces angles ne soient pas trop grands, car alors on ne pourrait plus les prendre pour leurs sinus, comme nous l'avons fait.

152. Influence de la rotation du prisme sur la position de l'image virtuelle. — L'objet lumineux envoyant des rayons perpendiculaires sur la face adjacente à l'angle droit d'un prisme rectangulaire, si le prisme tourne autour de la droite *l d (fig. 79)*, l'image virtuelle *l'* décrira une circonférence, dont le point *l* sera le centre et dont le rayon sera la tangente de l'angle de déviation du prisme *l' a l*. On peut donc, en tournant le prisme, donner à l'image virtuelle telle position que l'on voudra par rapport au point fixe, position, bien entendu, située sur la circonférence dont le rayon est la tangente de l'angle de déviation du prisme.

La rotation du prisme produit un effet analogue à celui d'un prisme ajouté au premier, qui viendrait dévier l'image virtuelle produite par le premier prisme.

Fig. 80.

Soit un objet C *(fig. 80)*, vu à travers un prisme rectangulaire placé au point S, et distant du plan A C B d'une quantité S C, la droite S C étant perpendiculaire au plan A B C. Sous l'influence de ce prisme, l'objet C est vu au point B. L'angle B S C est l'angle de déviation de ce prisme. Un second prisme ajouté à celui-là et ayant un angle de déviation A S B transporterait l'image virtuelle de B en A. Mais en faisant exécuter au premier prisme un angle de rotation égal à l'angle A C B, le point B viendra occuper le point A. Il s'agit de calculer, à l'aide de cet

angle de rotation, quel serait l'angle de déviation du prisme secondaire qu'il faudrait ajouter au premier pour transporter l'image du point B au point A.

La droite SC étant perpendiculaire au plan ACB et AC et BC étant égaux, comme rayons d'une même circonférence, les triangles rectangles ASC et BSC sont égaux.

En désignant l'angle de rotation ACB par θ, l'angle BSC de déviation du prisme par i et par α l'angle ASB du prisme que la rotation est destinée à remplacer, nous avons, d'après les formules trigonométriques pour la résolution des triangles sphériques rectangles,

$$\mathrm{Cos}\,\alpha = \cos^2 i + \sin^2 i \cos\theta.$$

En retranchant de l'unité chacun des membres de cette équation, comme l'a fait Lamé, il vient :

$$1 - \cos\alpha = 1 - \cos^2 i - \sin^2 i \cos\theta.$$

Mais comme $1 - \cos\alpha = 2\sin^2\frac{\alpha}{2}$ et $1 - \cos^2 i = \sin^2 i$, on a, en substituant,

$$2\sin^2\frac{\alpha}{2} = \sin^2 i - \sin^2 i \cos\theta = \sin^2 i\,(1 - \cos\theta) = 2\sin^2 i \sin^2\frac{\theta}{2}.$$

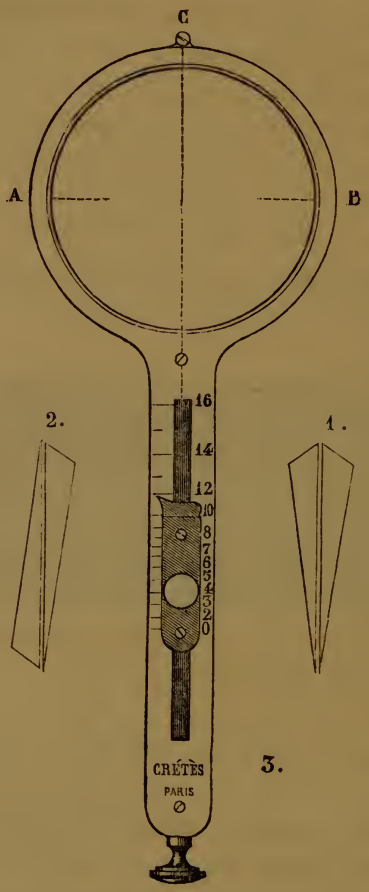
En divisant le tout par 2 et en extrayant de part et d'autre la racine carrée, on a

$$\mathrm{Sin}\frac{\alpha}{2} = \sin i \sin\frac{\theta}{2}.$$

Il résulte de là qu'étant connus l'angle i de déviation du prisme, l'angle de rotation θ, il sera facile d'en déduire l'angle α de déviation du prisme secondaire qu'il faudrait ajouter pour que l'image virtuelle produite par le premier prisme restant immobile vienne occuper une position donnée.

153. **Prisme mobile.** — Quand on a besoin de faire des essais avec des prismes, on perd du temps à changer de prismes. Pour éviter cette perte de temps, M. Crétès a imaginé un prisme mobile *(fig. 81)* qui remplace à lui seul une série de prismes.

Fig. 81



Prisme mobile de Crétès.

Deux prismes de 8° chacun étant placés l'un sur l'autre, base sur base et arête sur arête *(1, fig. 81)* forment un

prisme de 16°. En retournant base sur arête *(2, fig. 81)*, on obtient une masse de verre à surfaces parallèles et n'exerçant aucune déviation notable sur les rayons qui la traversent.

Entre ces deux limites 0° et 16°, il y a une série de réfractions, suivant que les prismes sont plus ou moins inclinés l'un sur l'autre.

« J'ai pensé, dit M. Crétès, à utiliser cette propriété des deux prismes, en construisant une monture qui permît de faire tourner chacun d'eux d'une quantité égale et à remplacer ainsi par un seul instrument portatif et peu coûteux la série des prismes ordinairement employée. »

Les prismes sont posés très près l'un de l'autre et peuvent tourner en sens inverse, au moyen d'un bouton glissant dans une coulisse graduée et portant un indicateur

Quand l'indicateur est à 0, la base de chacun des prismes est en C et en O. Il n'y a pas de déviation dans les images, les deux surfaces étant parallèles. Si l'on pousse le bouton, les bases des prismes se déplacent et peuvent être amenées à être superposées au point B; l'indicateur marque alors 16°. On peut donc obtenir, par cet instrument, une série de prismes de 0 à 16°, ce qui est très suffisant pour la pratique ordinaire.

Sur l'anneau qui supporte les prismes se trouve de chaque côté le mot BASE, qui indique de quel côté se trouve la base du prisme. Cette base est constante pour tous les degrés du prisme obtenu, et c'est un avantage énorme.

Sans vouloir en rien déprécier le mérite de cet instrument, ni diminuer les services qu'il rend, nous dirons que l'idée d'associer deux prismes n'est pas nouvelle. Elle fut d'abord mise en pratique par Rochon, dont le diapsoramètre est ainsi décrit par Verdet : « Le diapsoramètre de Rochon se compose de deux prismes à angles égaux,

juxtaposés par une de leurs faces. Ils peuvent tourner l'un par rapport à l'autre, autour de la perpendiculaire à la face commune, de manière que l'angle compris entre les faces externes prenne toutes les valeurs comprises entre zéro et le double de l'angle d'un des prismes. »

L'inconvénient du diapsoramètre de Rochon, c'est que l'un des prismes est immobile tandis que l'autre tourne. Dans le prisme mobile de M. Crétès, les deux prismes tournent également, et la section principale du prisme obtenu reste constante. D'après M. Daguin, M. Dubosc aurait imaginé un système de prismes, où les deux prismes tournant également, la section principale du prisme obtenu serait constante. M. Jamain a, lui aussi, fait construire un diapsoramètre « où les deux prismes tournent à la fois d'un mouvement commun, l'un vers la droite, l'autre vers la gauche, ce qui produit le même effet que si l'un d'eux avait tourné d'un angle double, mais ce qui laisse immobile la section normale des faces externes. »

154. **Diagnostic de la vision binoculaire.** — Dans le cas de strabisme, il est très important de savoir si la vision binoculaire existe. Soelberg Wells a insisté particulièrement sur ce point. « La question, dit-il, de savoir si la vision binoculaire existe ou n'existe pas, dans un cas de strabisme, est très importante pour le pronostic; car si elle n'existe pas, nous ne pouvons pas espérer une guérison parfaite, mais seulement une guérison approximative. En effet, s'il n'y a pas de diplopie, la guérison parfaite du strabisme, qui consiste dans la fusion des deux images, ne peut avoir lieu. Il faut donc toujours s'assurer de la présence de la vision binoculaire avant de poser le pronostic d'une opération pour le strabisme. »

C'est à l'aide des prismes que l'on peut reconnaître facilement l'existence de la vision binoculaire. Voici comment on procède : Après avoir déterminé séparément

l'acuité de la vision de chaque œil, on place devant l'un des yeux un prisme, à base en dehors, et l'on fait fixer un objet éclairé. Il se produira alors ou de la diplopie, ou du strabisme correctif ou bien aucun symptôme.

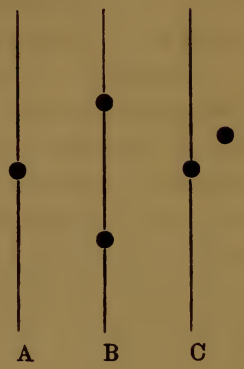
La diplopie démontre l'existence de la vision binoculaire, ainsi que le strabisme correctif. Ce dernier symptôme a lieu lorsque, le prisme étant très faible, l'œil armé du prisme a essayé, en louchant, d'amener la fusion des images doubles. L'absence de tout symptôme est l'indice que l'œil est exclu de la vision binoculaire et que le prisme a été placé devant l'œil non employé, car lorsqu'on place le prisme devant l'autre œil, celui-ci présente des symptômes de strabisme pour amener sur la tache jaune les rayons déviés par le prisme.

Comme la vision binoculaire n'est souvent perdue que pour certaines parties de la rétine, il y aura lieu de varier les expériences, et de donner au prisme différentes positions, pour explorer sérieusement les différentes régions de cet organe.

155. Insuffisance d'action musculaire. — L'insuffisance de l'action d'un des muscles de l'œil devient une cause de fatigue oculaire désignée sous le nom d'*asthénopie musculaire.* Les personnes qui en sont atteintes se plaignent que lorsqu'elles lisent, les lettres se séparen les unes des autres tout en restant distinctes, puis les lignes s'écartent et finissent par paraître doubles. Les malades intelligents ont très bien la conscience qu'un œil se dévie et que pour faire cesser la diplopie, il faut fermer un œil ou renoncer au travail. Toute application soutenue est impossible. Pour contrôler cet état qui est dû à une insuffisance d'action d'un des muscles de l'œil, il s'agit de rechercher comment se comportent les deux yeux, lorsqu'on met obstacle à l'accomplissement de la vision binoculaire.

De Graefe a proposé l'emploi des prismes pour produire une image double et contrôler ainsi la position de l'œil exclu de la vision binoculaire.

Fig. 82.



Le malade est placé en face d'un point noir situé sur une ligne verticale (A, *fig. 82*) à la distance à laquelle il se met ordinairement pour lire. Ceci fait, on couvre l'un des yeux d'un prisme de 12° à 15°, l'arête étant placée en haut.

Les yeux sont-ils normaux, c'est-à-dire l'action musculaire est-elle égale? Le malade voit deux points noirs situés l'un au-dessous de l'autre sur la même ligne verticale (B, *fig. 82*), parce que la suppression de la vision binoculaire ne modifie en rien la tension des muscles, les muscles droits internes et externes se faisant équilibre.

Y a-t-il insuffisance de l'un de ces muscles? La vision double se produit, mais le second point n'est plus sur la ligne verticale, il est en dehors (C, *fig. 82*), car l'œil s'est dévié.

Dans le cas d'insuffisance du muscle droit interne, les images doubles sont croisées. L'image située à droite est fournie par l'œil gauche et *vice versâ*. Si c'est le muscle

droit externe qui est insuffisant, les images sont homonymes. L'image située à gauche est vue par l'œil gauche et *vice versâ*.

De Graefe fait observer que lorsque le second point est peu écarté de la ligne verticale ou qu'un léger déplacement du prisme suffit, pour qu'il soit vu sur la ligne verticale, il y a lieu de considérer cet état comme normal.

En plaçant devant ce prisme un second prisme, on peut faire que les deux images soient vues sur une même ligne verticale. Ce second prisme additionnel donne le degré de l'insuffisance. On peut aussi obtenir cette position des deux images sur une même ligne verticale, en faisant exécuter des mouvements de rotation au prisme primitivement employé (152).

Cette méthode est ainsi appréciée par M. Berlin : « On sait, dit-il, que la méthode la plus rationnelle et la plus pratique consiste à rechercher le prisme à sommet supérieur, qui, pour une distance déterminée de l'objet fixé, amène les deux images dans la position perpendiculaire. Mais on n'y arrive qu'après bien des tâtonnements, après des essais souvent répétés à l'aide de prismes de différents degrés; de là une grande perte de temps. Ensuite, on doit se contenter d'un résultat approximatif, c'est-à-dire d'une moyenne calculée d'après les différentes mensurations. Enfin, cette méthode nécessite l'emploi des deux mains qui doivent tenir les verres, et l'on est obligé de confier l'objet de fixation à un aide ou au malade lui-même. »

156. Prisme de Berlin. — Nous avons vu dans le paragraphe précédent, qu'on pouvait incliner le prisme jusqu'à ce que les deux images fussent situées sur une même ligne. Il est difficile d'apprécier exactement le degré de rotation qu'on a imprimé au prisme. Pour éviter cet inconvénient et arriver à des mensurations exactes,

M. Berlin a fait disposer un prisme qui porte son nom et dont nous avons exposé la théorie (152).

Le prisme de Berlin est un instrument composé d'un prisme, taillé en rond et fixé dans un anneau. Ce dernier est enclavé dans un second anneau où il tourne de façon à ce que le plan de rotation coïncide avec le plan de la section principale du prisme. L'anneau extérieur est muni d'un quadrant ayant une double graduation, l'une indiquant l'angle de rotation exécuté par le prisme, et l'autre le degré du prisme secondaire résultant de cette rotation.

Sur une des faces du prisme existe une ligne parallèle à la base. Quand cette ligne coïncide avec le zéro de la graduation, la réfraction produite a lieu dans un plan perpendiculaire. Si on imprime au verre un mouvement de rotation, la ligne gravée sur le prisme indique sur le quadrant l'angle de rotation et le degré du prisme secondaire.

Cet instrument a l'avantage de rendre expéditive et facile la recherche du prisme correspondant à la déviation latérale.

157. **Diagnostic de la prédisposition à la myopie.** — Pour reconnaître si l'équilibre normal existe entre les muscles de l'abduction et ceux de l'adduction, M. Giraud Teulon conseille l'expérience suivante : une personne, ayant devant chaque œil un prisme de 18°, base en dehors, fixe un point situé à 20 centimètres. Si, à cette distance, l'objet est vu simple, on en conclut que les muscles droits internes ont conservé toute leur puissance d'action. S'il y a diplopie binoculaire, ces muscles ont perdu leur énergie; et quand ces muscles ont perdu leur énergie, il y aurait prédisposition à la myopie, d'après M. Titéca. Sans nous prononcer ici sur le rôle que les muscles droits jouent dans la production de la myopie, nous dirons que le moyen

conseillé par M. Titéca peut être mis facilement en pratique, en attendant que l'expérience en ait sanctionné la valeur.

Pour M. Titéca, la diminution de la puissance d'action des muscles droits internes, constituant la cause principale de la myopie, il s'agit d'évaluer cette diminution, en recherchant quel est le numéro du prisme, à base interne, qui, placé devant le prisme de 18°, amène la fusion des images, c'est-à-dire fait cesser la diplopie. Ce prisme, ainsi déterminé, peut être employé pour prévenir la myopie et annihiler la prédisposition à cette anomalie de la réfraction.

Nous ne saurions mieux résumer ces considérations qu'en citant l'ouvrage de M. Titéca. « Le degré de l'anomalie est du reste directement proportionnel au degré du prisme qu'il est nécessaire d'ajouter ou de retrancher au prisme type, 18°, pour arriver à la perception d'une image unique, à la distance de 18 centimètres. Dans le cas qui nous occupe, le prisme type sera trouvé trop fort, l'œil prédisposé à la myopie ne possédant pas la force normale de convergence; il faudra donc, pour arriver à l'image unique, adapter à ce prisme type un autre prisme, à base tournée en sens inverse, c'est-à-dire en dedans, et le degré de ce dernier donnera le numéro du verre dont il conviendra d'armer chaque œil prédisposé, pour les placer dans les conditions de l'œil physiologique. »

En employant des prismes base en dedans, M. Titéca reporte à une plus grande distance des yeux l'image virtuelle de l'objet fixé, puisque les prismes dévient l'image vers leur sommet. L'image virtuelle étant plus distante de l'œil, il y a diminution dans la convergence des yeux, et les muscles droits internes ne sont pas obligés de se contracter outre mesure.

158. **Simulation de l'amaurose unilatérale.** — Il arrive quelquefois que des personnes simulent la cécité d'un œil,

principalement pour se soustraire au service militaire. De Graefe a conseillé le premier l'emploi des prismes pour déjouer cette manœuvre et convaincre le simulateur de fraude.

Le procédé employé par de Graefe est ainsi décrit par Liebreich : « Le sujet est maintenu dans la conviction que l'examen de l'œil prétendu atteint d'amaurose est terminé, et que celui de l'autre œil commence. Pendant qu'il tient les deux yeux ouverts, on place un prisme de 10°, par exemple, en avant de l'œil sain, en tournant sa base en haut ou en bas. Si l'autre œil est réellement atteint d'amaurose, l'image obtenue avec le prisme est simple, mais si la cécité est simulée, il se produit deux images que le sujet ne se garde pas d'indiquer; en effet, il les attribue à l'action du prisme sur son œil sain. Il ignore que l'une des deux images provient de l'œil prétendu amaurotique. »

Ce procédé, comme on le voit, consiste à produire la diplopie binoculaire, diplopie qui ne peut exister, si la vision d'un œil est abolie. Mais ce procédé est quelquefois en défaut, quand le simulateur est prévenu de la signification de la diplopie. Cependant, même dans ce cas, la simulation peut être reconnue objectivement par les déplacements qu'effectue l'œil armé d'un prisme, pour amener la fusion des doubles images. « On fait fixer attentivement un objet rapproché, dit M. Landolt, puis on amène rapidement devant l'œil prétendu aveugle un prisme dont l'angle réfringent est dirigé en dedans. Si l'œil voit, on pourra observer que, par sa tendance à la vision simple, l'œil se met à converger davantage. »

Ces deux moyens pouvant être mis en défaut par le simulateur, Graefe propose de procéder de la manière suivante : On provoque une diplopie monoculaire, en plaçant devant l'œil sain un prisme dont la base est horizontale et dont l'arête coïncide avec le diamètre transversal de la pupille. La pupille étant à moitié

couverte, le malade voit à la fois au-dessus du prisme et à travers le prisme. Il y a donc diplopie, mais diplopie monoculaire, l'œil prétendu amaurotique étant couvert. Cette diplopie monoculaire étant obtenue, on découvre subitement l'œil prétendu amaurotique en même temps qu'on élève le prisme, de manière à ce qu'il couvre toute la surface de la pupille. Si l'œil dit amaurotique est clairvoyant, la diplopie existe, mais elle est alors binoculaire. Si elle n'existe pas, la cécité est démontrée. Ce procédé se termine comme celui de De Graefe, mais il a dès le début l'avantage de dérouter le simulateur, en lui permettant de croire que son œil sain peut toujours lui fournir une double image.

M. Berthold fait lire le patient à haute voix et place alors subitement un prisme devant l'œil dit amaurotique, Si cet œil est clairvoyant, le simulateur hésite un moment, à cause de la vision binoculaire procurée par le prisme.

Tous ces subterfuges ne donnent pas toujours des indications bien nettes pour le diagnostic de la simulation de l'amaurose unilatérale ; car, fort souvent, s'il y a simulation, il y a aussi diminution de l'acuité de la vision, et comme l'a fait observer M. Landolt, la simulation n'est qu'une exagération. Ce n'est donc pas aux prismes seuls qu'il faut demander les éléments du diagnostic.

159. **Ophthalmomètre Landolt.** — Cet instrument a pour base principale le diplomètre que l'auteur a présenté à l'Académie des Sciences en 1876, et qui consiste en deux prismes, dirigés en sens inverse et adaptés l'un à l'autre suivant leur section principale.

En regardant à travers la ligne de contact des deux prismes, on voit double, parce que chaque prisme fait dévier en sens opposé les rayons venus de l'objet. La distance entre les deux images varie suivant la distance de l'objet aux prismes. Lorsque ces deux images se touchent

par leurs bords opposés, le dédoublement produit par les prismes est égal au diamètre de l'objet, car, dans ce cas, l'une de ces images a été déplacée de sa moitié dans une direction et l'autre, de sa moitié dans la direction opposée.

Ces deux prismes sont contenus dans une petite lunette, mobile sur une tige graduée, qui indique, pour chaque distance, le dédoublement produit.

Étant donnée, par exemple, la grandeur d'une image fournie par la cornée, il sera facile de déterminer le rayon de cet organe.

M. Landolt s'est placé dans des conditions telles que le diamètre de l'image est égal à la moitié du rayon de courbure de la cornée. Ainsi l'instrument indique-t-il que le diamètre de l'image fournie par la cornée est de 4 millimètres, le rayon de cet organe est de 8 millimètres.

Cet ophthalmomètre, que M. Landolt n'a pas la prétention d'égaler à celui d'Helmholtz, a néanmoins l'avantage de fournir au clinicien un moyen rapide de mesurer le rayon de courbure de la cornée.

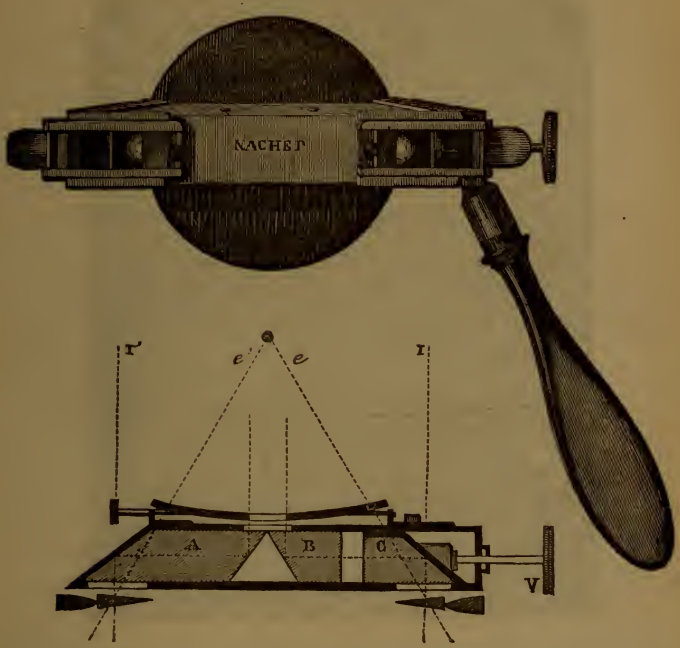
160. **Ophthalmoscope binoculaire de Giraud Teulon.** — L'ophthalmoscope binoculaire de Giraud Teulon, l'une des plus heureuses transformations ophthalmoscopiques, a pour but de procurer à chaque œil de l'observateur une image différente du fond de l'œil observé et à produire, au moyen de prismes, la coalescence de ces deux images.

Comme l'a fait observer Knapp, cet ophthalmoscope, outre la perception immédiate du relief, fournit un éclairage plus intense, parce qu'un objet paraît plus éclairé quand il est vu avec les deux yeux. Il donne un champ visuel plus étendu à cause de l'emploi simultané des deux yeux, et il procure des perceptions plus nettes et plus sûres, parce que la vision s'exerce mieux avec deux yeux qu'avec un seul.

Derrière le miroir, dans une petite caisse *(fig. 83)*, sont

placés deux rhomboèdres, dont les angles ont 45°. Pour faciliter l'observateur, une vis V permet d'éloigner ou de rapprocher le rhomboèdre C, de manière à ce que les prismes soient exactement placés devant les yeux. Les rayons lumineux émanés du point O, rencontrant les rhomboèdres, se divisent, subissent deux réflexions totales (59) et pénètrent dans chaque œil de l'observateur,

Fig. 83.



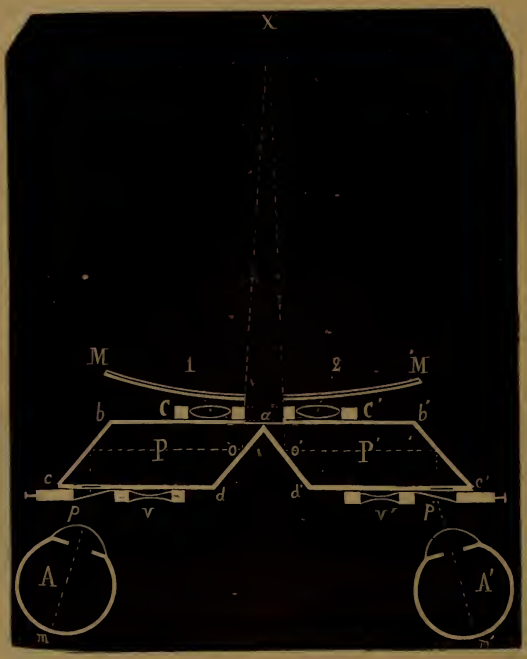
Ophthalmoscope binoculaire de Giraud Teulon : A, B, C, rhomboèdres.

qui rapporte ces images au point I et I'. L'observateur a donc la sensation d'une double image. Mais au moyen des prismes, les rayons sont de nouveau déviés dans la direction *ee'*, et l'observateur ne voit plus qu'une seule image, comme avec un stéréoscope.

Cet instrument a été l'objet d'une amélioration par l'addition de verres convexes et concaves.

En plaçant derrière l'ouverture du miroir *(fig. 84)* une des lentilles convexes C ou C′, et devant les oculaires les verres concaves V et V′, on ajoute à l'instrument une sorte de lunette de Galilée, ce qui augmente beaucoup le grossissement.

Fig. 84



Ophthalmoscope binoculaire de Giraud Teulon — MM, miroir concave. — *abcd*, *a′b′c′d′*, rhomboèdres. — *pp′*, prismes. — A, A′, yeux de l'observateur. — X, objet fixé. — C, C′, lentilles convexes. — V, V′, lentilles concaves.

Cet ophthalmoscope, dont nous avons indiqué la manière de s'en servir (page 26), a l'avantage de donner la sensation du relief et de faciliter une appréciation exacte des différences de niveau qui existent dans les parties examinées.

Pour éviter une convergence nuisible des lignes visuelles, au lieu d'employer, comme Titéca et la plupart des auteurs, des prismes ordinaires, M. Boettcher emploie les rhomboèdres de l'ophthalmoscope binoculaire de Giraud Teulon.

BIBLIOGRAPHIE

Berlin, *Une nouvelle Manière de disposer les verres prismatiques pour la mensuration de la déviation latérale en cas d'insuffisance.* (*Annales d'oculistique*, LXVIII, 233, 1872.)

Boettcher, *Lunettes composées de prismes à réflexion pour éviter une convergence nuisible des lignes visuelles.* (*Annales d'oculistique*, LXXVII, 172, 1877.)

Crétès, *Notice sur le prisme mobile.* (*Annales d'oculistique*, LXVII, 62, 1872.)

Daguin, *Traité de physique*, IV, 265. Paris, 1862.

Giraud Teulon, *Du Mécanisme de la production et du développement du staphylome postérieur et de ses rapports avec l'insuffisance des muscles droits internes.* (*Annales d'oculistique*, LVI, 208, 1866.)

Graefe, *Asthénopie musculaire.* (*Congrès d'ophthalmologie*, p. 93. Paris, 1862.)

— *Simulation de l'amaurose unilatérale.* (*Annales d'oculistique*, LXI, 277, 1869.)

Jamin, *Cours de physique*, III, 773. Paris, 1869.

Lamé, *Cours de physique*, II, 204. Paris, 1836.

Landolt, *Traité complet d'ophthalmologie*, par L. de Wecker et E. Landolt, p. 504. Paris, 1879.

— *Ophthalmomètre.* (*Congrès des Sciences médicales.* Genève, 1877.)

Liebreich, *De la Simulation de l'amaurose.* (*Annales d'oculistique*, LII, 221, 1864.)

Soelberg Wells, *Traité pratique des maladies des yeux*, p. 607. Paris, 1873.

Titéca, *Pathogénie et prophylaxie de la myopie*, p. 127. Paris, 1878.

Verdet, *Cours de physique*, II, 281.

CHAPITRE XX

LENTILLES CYLINDRIQUES

161. Définition. — Les lentilles cylindriques qu'Airy proposa le premier, en 1827, pour la correction de l'astigmatisme, sont des segments de cylindre, dont l'axe est l'axe de la lentille cylindrique.

Ces lentilles sont plan-cylindriques, sphéro-cylindriques ou bicylindriques. Celles qui sont plan-cylindriques, sont planes sur une de leurs faces et cylindriques sur l'autre. Celles qui sont sphéro-cylindriques, sont taillées comme des verres sphériques sur une de leurs faces et comme des cylindres sur l'autre. On peut les considérer comme étant le résultat de la juxtaposition d'une lentille sphérique plan-convexe et d'une lentille plan-cylindrique. Les lentilles bicylindriques offrent une courbure cylindrique sur chacune de leurs faces. On peut les considérer comme formées par la juxtaposition de deux lentilles plan-cylindriques. Pour les besoins de la pratique ophthalmologique, les lentilles bicylindriques sont à axes perpendiculaires.

La courbe cylindrique peut être concave ou convexe, et les lentilles cylindriques sont numérotées comme les lentilles sphériques.

162. Vérification des lentilles cylindriques. — M. Javal, qui s'est beaucoup occupé de l'astigmatisme, donne à ce

sujet les renseignements suivants : « Les verres plan-cylindriques du commerce sont carrés. L'ouvrier, pour travailler la surface sphérique, colle la surface cylindrique sur un manche, et une fois le travail terminé, dans le cas des surfaces sphériques convexes, le verre est devenu rond et la direction de l'axe des cylindres n'est pas toujours facile à retrouver exactement. »

Pour reconnaître la direction de l'axe, ce qui est très important, M. Javal propose l'expérience suivante. On se place à 20 pieds de distance de deux traits verticaux, éloignés l'un de l'autre de 1 pied. Tenant alors le verre cylindrique à bras tendu, on fixe au travers les deux traits verticaux et l'on fait tourner le verre jusqu'à ce que les traits soient vus dans une direction verticale. La ligne horizontale qui passe alors par le verre, est l'axe du cylindre.

Pour atteindre le même but, on pourrait se servir du centromètre, instrument imaginé par MM. Becker et Pasquier et destiné à déterminer la direction de l'axe d'un verre cylindrique. Mais le procédé indiqué par M. Javal est plus à la portée de tous.

163. **Réfraction par les lentilles cylindriques.** — Les lentilles cylindriques, à cause de leur disposition, offrent ce phénomène particulier, qu'elles réfractent inégalement les rayons lumineux suivant les plans qui les contiennent.

Pour les rayons lumineux contenus dans un plan passant par leur axe, les lentilles cylindriques jouent le rôle d'un verre limité par des surfaces parallèles et la réfraction produite peut être considérée comme nulle (80), vu le peu d'épaisseur de ces lentilles.

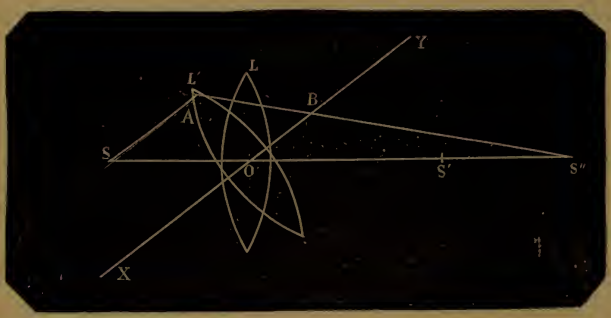
Quant aux rayons lumineux contenus dans un plan perpendiculaire à leur axe, les lentilles cylindriques jouent exactement le même rôle qu'une lentille sphérique et tous les calculs relatifs aux lentilles sphériques leur deviennent applicables.

On voit par là que les lentilles cylindriques n'ont d'action que sur les rayons contenus dans le plan perpendiculaire à leur axe. Cette particularité très importante permet de les utiliser pour corriger l'astigmatisme régulier.

164. Influence de la rotation du cylindre sur la réfraction. — A l'aide d'une démonstration qui nous est complètement inconnue, M. Hay, de Boston, a recherché ce que devenait un rayon oblique, incident à une lentille plan-cylindrique, qui tourne autour de son axe.

Les rayons lumineux contenus dans le plan qui passe par l'axe du cylindre, ne sont nullement influencés par la rotation de la lentille. Cela se conçoit facilement, car les sections du cylindre par ce plan, sont deux droites parallèles. Il en est autrement pour les rayons contenus dans le plan perpendiculaire à l'axe du cylindre. D'après M. Hay, les rayons formeraient leur foyer plus près de la lentille. La réfraction serait donc augmentée par la rotation de la lentille. « Il est ainsi facile, dit-il, en modifiant en plus ou en moins l'obliquité d'une lentille cylindrique, d'en faire varier la puissance. »

Fig. 85.



Nous ignorons la démonstration de M. Hay. Pour nous, nous sommes arrivés à un résultat opposé. La lentille en

tournant n'augmente pas de réfraction, elle diminue au contraire.

Quand il s'agit de réfraction à travers les lentilles cylindriques, on peut les comparer aux lentilles sphériques, car leur action n'a lieu que suivant une courbe circulaire.

Soit *(fig. 85)* S un point lumineux, situé sur l'axe principal SS' d'une lentille L et au delà de sa distance focale. Ce point aura son image réelle au point S'. La relation entre les points S et S', en désignant SO par p, et OS' par p', sera (équation 2, page 191)

$$p' = \frac{pf}{p - f}.$$

Faisons tourner la lentille L autour de son centre optique O, de manière à ce qu'elle occupe, par exemple, la position L'. L'axe principal de la lentille sera maintenant XY et le point S sera situé sur un axe secondaire. Pour trouver la position de son image, menons SA parallèle à XY. Ce rayon, passant par le foyer B de la lentille L, viendra couper l'axe secondaire en S'', où se trouvera l'image réelle du point S.

Dans le triangle S''AS, OB étant parallèle à la base SA, on a

$$\frac{\text{OB ou } f}{\text{AS}} = \frac{\text{S''O ou } p''}{\text{S''O ou } p'' + \text{OS ou } p}.$$

D'un autre côté, nous avons

$$\frac{\text{AS}}{\text{OS ou } p} = \cos \text{SOX}.$$

En transportant dans la première équation, la valeur de AS, tirée de la seconde, et en désignant par α

l'angle SOX, angle de rotation de la lentille, il vient, pour la valeur de p'',

$$p'' = \frac{pf}{p\cos\alpha - f}.$$

Cos α étant un nombre fractionnaire plus petit que l'unité et d'autant plus petit que l'angle α est grand, il en résulte que $p\cos\alpha$ est plus petit que p, et que $p\cos\alpha - f$ est plus petit que $p - f$; p'' est donc plus grand que p'. Le point S'' est donc plus distant de la lentille que le point S'. La lentille, en tournant autour de son centre optique, n'a donc pas augmenté de réfraction, mais bien diminué.

En présence de cette démonstration, il nous est impossible de comprendre comment M. Hay est arrivé aux résultats qu'il a annoncés.

165. **Lentille de Stokes.** — Cette lentille, imaginée en 1849 par Stokes, a subi plusieurs modifications, tout en conservant le même nom. D'après la disposition que lui a donnée Donders, elle se compose de deux lentilles cylindriques, mises en contact par leur face plane et pouvant tourner facilement l'une sur l'autre. L'une de ces lentilles est plan-concave $-\frac{1}{10}$ et l'autre plan-convexe $+\frac{1}{10}$.

Chacune de ces lentilles est enchâssée dans une monture circulaire. L'une des montures porte une flèche servant d'indicateur, et l'autre est graduée en degrés. Cette disposition permet de connaître à la fois l'angle de rotation des cylindres l'un sur l'autre et le degré de l'astigmatisme.

Quand les axes des deux lentilles sont dirigés dans le même sens, on obtient un système à surfaces parallèles, analogue à un verre de montre et sans action sensible sur la marche des rayons lumineux. Quand les axes sont perpendiculaires entre eux, ce que l'on obtient en faisant exécuter à l'une des lentilles un angle de 90°, on obtient des effets divers suivant le plan que l'on considère. Dans

le plan perpendiculaire à l'axe de la lentille convexe, on a l'effet d'une lentille sphérique convexe $+\frac{1}{10}$. Dans le plan perpendiculaire à l'axe de la lentille concave, on obtient l'effet d'une lentille sphérique concave, $-\frac{1}{10}$. La différence entre ces deux réfractions, différence qui constitue le degré de l'astigmatisme, est $+\frac{1}{5}$.

Cet instrument, ainsi disposé, permet donc de mesurer tous les degrés d'astigmatisme, compris entre 0 et $+\frac{1}{5}$. Mais il a l'inconvénient de ne pouvoir servir en rien à la détermination du degré de l'amétropie dans chaque méridien, car l'axe du cylindre résultant de cette combinaison est trop variable.

Pour obtenir une lentille cylindrique à axe constant, M. Javal propose de substituer à la combinaison adoptée une lentille cylindrique positive et deux lentilles cylindriques négatives se mouvant en sens contraire et d'une quantité égale.

Snellen a utilisé le mécanisme adopté par M. Crétès pour le prisme mobile. Les verres cylindriques sont, l'un positif $+\frac{1}{12}$, et l'autre négatif $-\frac{1}{12}$. Malgré tous ces perfectionnements, la lentille de Stokes sera peu pratique, car elle ne constitue pas un cylindre simple. Les réfractions sont différentes suivant qu'on regarde dans un sens ou dans l'autre. Par la rotation des deux cylindres l'un sur l'autre, on obtient non seulement les effets d'un nouveau cylindre, mais aussi les effets d'une lentille sphérique à foyer variable. Pour corriger cet effet, Snellen conseille l'emploi de lentilles sphériques positives et négatives, ce qui complique l'examen et entraîne une perte de temps.

La lentille de Stokes, modifiée par Snellen, est connue sous le nom de *lentille de Snellen*. Mais la priorité de l'invention, consistant à donner un axe immobile à la lentille de Stokes, appartient à M. Javal. Les modifications qu'il a apportées à cette lentille, en la composant de

trois cylindres, sont plus heureuses que celles de M. Snellen.

166. **Instrument du Dr Lawrence.** — Pour déterminer la direction de l'axe d'un verre cylindrique qui corrige un astigmatisme donné, M. Lawrence a imaginé l'instrument suivant : Dans une boîte graduée, est introduite une monture circulaire qui porte le verre cylindrique et qui peut exécuter des mouvements de rotation. Quand le malade a fait connaître l'inclinaison du verre qui produit la plus grande netteté de la vision, le médecin n'a qu'à lire sur l'instrument l'angle que forme avec la boîte graduée la monture circulaire qui supporte le verre cylindrique.

Cet instrument n'est pas d'une utilité absolue; nous verrons qu'il peut être avantageusement remplacé par la plupart des optomètres.

BIBLIOGRAPHIE

Becker, *Démonstration et explication de quelques instruments.* (*Annales d'oculistique*, LXXIII, p. 295, 1875.)

Donders, *L'astigmatisme et les verres cylindriques.* Paris, 1863.

Hay, *Sur l'accroissement du pouvoir réfringent apporté à une lentille plan-cylindrique, lorsqu'on la fait tourner autour de son axe.* (*Annales d'oculistique*, LXXV, p. 282, 1876.)

Javal, *Sur le choix des verres cylindriques.* (*Annales d'oculistique*, LV, p. 14, 1866.)

— *De la lentille de Stokes.* (*Annales d'oculistique*, LXI, p. 73, 1869.)

— *Lentille de Stokes modifiée.* (*Annales d'oculistique*, LXXX, p. 201, 1878.)

Lawrence, *Instrument pour mesurer l'axe de l'astigmatisme.* (*Annales d'oculistique*, LIII, p. 68, 1865.)

Snellen, *Lentille de Stokes à axe constant.* (*Annales d'oculistique*, LXXI, p. 173-270, 1874.)

CHAPITRE XXI

ASTIGMATISME

167. **Définition.** — Ainsi que nous l'avons vu (66), la cornée est un ellipsoïde à trois axes inégaux. Le méridien vertical a un rayon de courbure plus court que le méridien horizontal, mais ce n'est pas une règle absolue, car il y a de nombreuses exceptions. De cette inégalité des rayons de courbure, résulte une inégalité de réfraction des rayons lumineux qui pénètrent dans l'œil. Si la différence n'est pas trop grande, la vision n'est pas troublée, mais il n'en est pas de même dans le cas contraire. La netteté de la vision s'en ressent, l'acuité est diminuée, les objets sont vus déformés, etc.

Cette inégalité de réfraction des divers méridiens de l'œil a reçu le nom d'*astigmatisme.*

Ce mot, créé par le Dr Whewell, vient du grec, *à* privatif et στίγμα point, et il est ainsi défini par M. Javal : « Nous désignons, sous le nom général d'*astigmatisme,* tous les états de l'appareil dioptrique de notre œil, dans lesquels les rayons émanant d'un point lumineux unique ne viennent pas former foyer, également en un point unique. »

Les deux méridiens de l'œil qui ont la plus grande différence de réfraction, s'appellent *méridiens principaux.* Ils sont perpendiculaires l'un à l'autre, et ils forment quelquefois des angles variables avec la verticale.

Dans beaucoup de traités, ainsi que dans les formules, le mot astigmatisme est écrit ainsi par abréviation, As. ou A.

168. **Division.** — L'astigmatisme est *régulier*, quand la réfraction varie d'un méridien à l'autre; *irrégulier*, lorsque la réfraction varie dans un seul et même méridien, comme à la suite de lésions de la cornée. L'état du cristallin peut aussi occasionner cette variété.

L'astigmatisme régulier, seul susceptible de correction, et le seul dont nous ayons à nous occuper, se divise en 1° simple; 2° composé; 3° mixte.

Dans l'astigmatisme simple, l'un des méridiens principaux a une réfraction normale, il est emmétrope, tandis que l'autre est hypermétrope ou myope, de là deux variétés d'astigmatisme simple, l'astigmatisme hypermétropique simple, Ah. et l'astigmatisme myopique simple, Am.

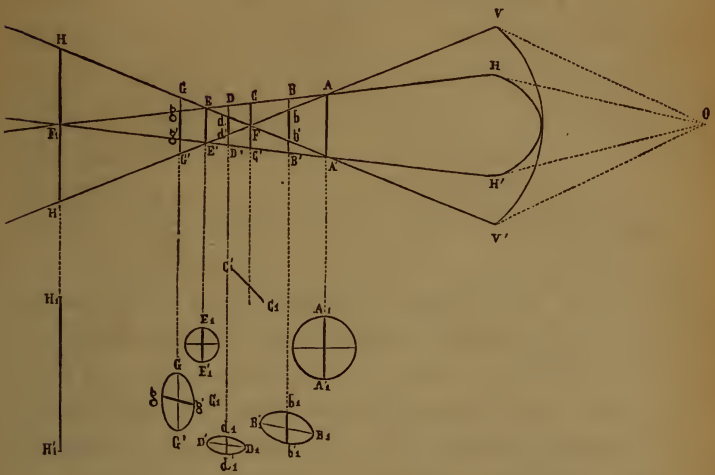
Dans l'astigmatisme composé, les deux méridiens principaux sont tous deux amétropes, mais de signe semblable. Ainsi ces deux méridiens principaux seront ou tous deux myopes ou tous deux hypermétropes; de là deux variétés d'astigmatisme composé: l'astigmatisme hypermétropique composé et l'astigmatisme myopique composé.

Dans l'astigmatisme mixte, les deux méridiens principaux sont tous deux amétropes, mais de signe contraire. Ainsi, l'un des méridiens est hypermétrope, tandis que l'autre est myope. La myopie peut l'emporter sur l'hypermétropie et *vice versâ*. Pour distinguer ces deux variétés, Donders emploie la notation suivante : Ahm., quand l'hypermétropie est prépondérante, et Amh., dans le cas contraire.

169. **Intervalle focal de Sturm.** — La théorie de la réfraction par les surfaces asymétriques a été développée par Sturm, qui fit observer qu'un faisceau de lumière homocentrique tombant sur une portion très petite et

limitée par une ligne circulaire à surface convexe et asymétrique, ne reste pas homocentrique après la réfraction.

Fig. 86.



Soit *(fig. 86)* un point lumineux O, envoyant des rayons lumineux sur une surface convexe et asymétrique, dont VV′ est le méridien vertical et HH′ le méridien horizontal. Les foyers principaux de ces deux méridiens ne sont pas situés au même point. L'un, celui du méridien vertical, est en F, et l'autre, celui du méridien horizontal, est en F′.

En quelque position, A, B, C, D, etc., que l'on mette l'écran chargé de recevoir l'image réelle du point O, il y aura des cercles de diffusion, et cette image affectera différentes formes suivant la position occupée par l'écran.

Ainsi, par exemple, au point A, l'image est circulaire; au point B, elle est elliptique, etc. La figure 86 donne la forme de l'image suivant les différentes positions occupées par l'écran.

La distance comprise entre le foyer F, du méridien vertical VV′ et le foyer F′, du méridien horizontal HH′, s'appelle l'intervalle focal de Sturm.

C'est sur l'existence de cet intervalle focal que Sturm faisait reposer toute la théorie de l'accommodation. Un objet, d'après lui, n'était nettement vu qu'à la condition d'avoir son image située dans l'intervalle focal. Mais ce que Sturm avait pris pour un état normal, n'était autre chose qu'un état anormal, quand il est trop développé. La théorie de Sturm n'a pas prévalu, comme application à la théorie de l'accommodation, mais la démonstration reste vraie pour l'astigmatisme, car elle nous apprend comment les astigmates ne jouissent pas d'une vision nette.

170. **Fente sténopéique de Donders.** — La fente sténopéique de Donders est un écran percé d'une fente large de deux millimètres environ. Cet écran, placé devant l'œil, a la propriété de ne laisser pénétrer dans la cavité oculaire que les rayons suivant un méridien donné, c'est-à-dire suivant le méridien parallèle à la fente.

Cet instrument a pour but de mesurer la réfraction de l'œil suivant les différents méridiens. Voici comment on procède.

La fente sténopéique étant placée devant l'œil, dans une direction donnée, on recherche quel est le verre sphérique qui rend la vision aussi nette que possible. Ce verre indique la réfraction du méridien parallèle à la direction donnée à la fente sténopéique. On peut ainsi, par une série d'expériences, avoir la réfraction dans les différents méridiens de l'œil.

Ce procédé exige au préalable la paralysie de l'accommodation. Il fait perdre beaucoup de temps et souvent ne donne pas de résultats bien précis. M. Javal est d'avis qu'il ne doit être employé que lorsqu'il y a nystagmus, irrégularité de la pupille, cataracte commençante, c'est-à-dire toutes les fois que l'examen par les optomètres présentera des difficultés.

Les principaux optomètres sont munis d'une fente

sténopéique, ce qui permet de mesurer la réfraction des différens méridiens de l'œil d'une manière plus rapide qu'avec le procédé de Donders.

171. **Degré de l'astigmatisme.** — Tous les yeux étant plus ou moins astigmatiques, il s'agit de déterminer le moment où la différence de réfraction entre les méridiens principaux cesse d'être physiologique pour devenir pathologique.

La ligne de démarcation entre ces deux états ne peut être fixée qu'arbitrairement. Aussi voit-on des auteurs dire que l'astigmatisme est pathologique quand il est de $\frac{1}{36}$, tandis que d'autres ne le considèrent comme tel que lorsqu'il a atteint $\frac{1}{40}$.

La différence entre la réfraction des deux méridiens principaux sert à désigner le degré de l'astigmatisme. Cette manière de mesurer l'astigmatisme est due à Young et elle a été généralement acceptée. Mais, comme le système duodécimal rend les calculs plus compliqués, nous ne suivrons pas l'exemple de Donders, et nous n'aurons recours qu'aux données du système de numérotage des lentilles par dioptries. En procédant ainsi, notre exposition sera plus claire et les calculs deviendront d'une très grande facilité.

La connaissance du degré de l'astigmatisme est très importante en pratique, car elle sert de base aux calculs des verres nécessaires à la correction des différents cas d'astigmatisme. Nous allons donc étudier comment on détermine le degré de l'astigmatisme.

Le degré de l'astigmatisme étant la différence entre la réfraction des deux méridiens principaux, il faut, pour les calculs, distinguer trois cas : 1° l'astigmatisme simple, 2° l'astigmatisme composé et 3° l'astigmatisme mixte.

1° *Astigmatisme simple.* Dans l'astigmatisme simple, l'un des méridiens étant emmétrope, le degré de l'astig-

matisme est représenté par la valeur de la réfraction du méridien amétrope.

2° *Astigmatisme composé.* Pour obtenir le degré de cette variété d'astigmatisme, étant donné le système métrique, représentant en dioptries la valeur de la réfraction des méridiens principaux, il suffit de retrancher la plus petite valeur de la plus grande et de donner au reste le signe commun aux deux lentilles.

Exemple. — Dans un cas d'astigmatisme composé, l'un des méridiens est myope, — 10 dioptries et l'autre, — 6 dioptries. Quel est le degré de l'astigmatisme?

Je retranche 6 de 10 et j'obtiens 4. Je donne à ce résultat le signe —, commun aux deux lentilles et j'ai pour le degré de cet astigmatisme myopique composé, — 4 dioptries.

Exemple. — L'un des méridiens est hypermétrope, + 4 dioptries et l'autre, + 2 dioptries. Quel est le degré de l'astigmatisme?

En retranchant 2 de 4, on a 2, et comme le signe commun aux deux lentilles est +. j'ai pour le degré de cet astigmatisme hypermétropique composé, + 2 dioptries.

3° *Astigmatisme mixte.* Le degré de cette variété d'astigmatisme s'obtient en faisant la somme des dioptries qui représentent la réfraction des méridiens principaux.

Il faut ici faire attention que l'un des méridiens étant hypermétrope et l'autre myope, la lentille correctrice est positive pour le méridien hypermétrope, tandis qu'elle est négative pour le méridien myope; or, pour retrancher d'une quantité positive une quantité négative, il faut ajouter celle-ci à celle-là.

Exemple. — L'un des méridiens est hypermétrope + 2 dioptries et l'autre myope — 10 dioptries. Quel est le degré de l'astigmatisme?

En additionnant 10 et 2, on obtient 12 dioptries pour réponse à la question posée.

172. **Examen ophthalmoscopique de la papille d'un œil astigmatique.** — En 1861, à la session du congrès ophthalmologique, Knapp signala la forme elliptique que prenait l'image de la papille du nerf optique des astigmates, lorsqu'on l'examinait par la méthode de l'image renversée. Comme il peut arriver que la papille soit anatomiquement ovale, dans les cas de staphylome postérieur, par exemple, le diagnostic de l'astigmatisme par l'examen ophthalmoscopique aurait été difficile et même impossible sans l'observation de Schweigger.

Schweigger fait remarquer qu'il faut examiner la papille et par le procédé de l'image droite et par le procédé de l'image renversée. A l'aide de ce double examen, on constate que la papille des astigmates est elliptique et que le grand axe de l'ellipse n'a pas la même direction. « Si, dit-il, la papille est ovale longitudinalement à l'image droite et ovale transversalement à l'image renversée, il n'en est pas moins vrai qu'anatomiquement parlant, elle ne saurait être ni l'un ni l'autre et qu'il doit y avoir un motif optique qui explique la forme variable de l'image ophthalmoscopique. Il peut cependant arriver que la papille ait réellement une forme ovale longitudinalement ou même transversale, mais cela n'empêche pas de reconnaître l'astigmatisme à l'aide de l'ophthalmoscope. Ici, l'examen, soit à l'image droite ou à l'image renversée, est insuffisant. Il faut, pour arriver au diagnostic, établir la comparaison des deux images. La différence de forme entre les images droite et renversée produite par l'astigmatisme, existe toujours quelle que soit la forme anatomique réelle de la papille. Une papille, par exemple, ovale longitudinalement, présentera, en présence d'un astigmatisme pathologique régulier, une forme ovale longitudinale à l'image droite, tandis qu'elle sera presque sphérique à l'image renversée. Une papille, au point de vue anatomique, au contraire, ovale transversalement, sera

presque sphérique à l'image droite, et ovale transversalement, à l'image renversée. »

Au lieu de procéder à ce double mode d'examen de la papille, M. Javal se borne à l'examen de l'image renversée, mais il fait varier la distance de la lentille à l'œil, autant que cela se peut, sans que le champ devienne plus petit que la papille. « S'il y a de l'astigmatisme, dit-il, l'image de la papille se déforme pendant ce mouvement et affecte un allongement de sens inverse aux deux extrémités de la course de la lentille. »

Pour expliquer ces variations dans la forme de l'image renversée, il suffit de nous reporter au paragraphe 122, où nous avons étudié l'influence des déplacements de la lentille sur la grandeur de l'image renversée. Supposons un œil astigmatique : l'un des méridiens est myope et l'autre hypermétrope. La lentille étant placée près de l'œil s'éloigne peu à peu de cet organe. Que se passe-t-il? Le diamètre de l'image correspondant au méridien myope grandit, le diamètre correspondant au méridien hypermétrope diminue. La papille est elliptique dès le début, car le diamètre de la papille en rapport avec le méridien hypermétrope est plus grand que celui qui est en rapport avec le méridien myope. La lentille s'éloignant de l'œil, il arrive un moment où ces deux diamètres sont égaux, la papille est alors circulaire. Puis, à partir de ce point, si l'on éloigne encore la lentille, le diamètre en rapport avec le méridien myope continuant à augmenter, pendant que celui qui est en rapport avec le méridien hypermétrope diminue, le premier est plus grand que le second, l'image de la papille est elliptique, mais le grand axe de cet ellipse est placé en sens inverse de ce qu'il était au début de l'expérience, quand la lentille était très près de l'œil.

173. **Astigmomètre de Bravais.** — Cet instrument, imaginé par M. Bravais, de Lyon, consiste en un tube

contenant deux lentilles convexes. A l'extrémité objective du tube, est placé un écran percé d'une très petite ouverture circulaire qui donne passage aux rayons d'une lampe. A l'autre extrémité, est placée une lentille convexe ayant un foyer plus court que la longueur du tube.

L'œil à explorer, regardant l'ouverture circulaire éclairée, à travers l'oculaire, verra cette ouverture ovalaire, s'il est astigmatique. L'astigmatisme ainsi reconnu, il s'agit de le mesurer. A cet effet, une seconde lentille convexe a été placée dans l'intérieur du tube, et elle pivote sur son axe au moyen d'un pignon situé en dehors du tube. On lui donne une inclinaison telle que l'œil observé ait la sensation d'une ouverture circulaire et non plus ovalaire, comme il l'avait au début. Le degré de l'obliquité qu'il a fallu donner à cette lentille est indiqué par une aiguille tournant sur un cercle gradué.

Une table construite à l'avance donne le numéro des verres cylindriques correcteurs qui répondent aux différents degrés d'inclinaison de la lentille.

L'observateur, s'il est emmétrope et non astigmate, peut procéder d'une autre manière. Il regarde lui-même dans l'instrument, disposé tel qu'il l'était lorsque l'astigmatisme de l'œil observé a été corrigé. Dans ces conditions, il voit le trou ovale, et n'a qu'à chercher le verre cylindrique qui lui fera apparaître le trou circulaire. Le verre cylindrique qu'il aura employé sera le verre correcteur de l'astigmatisme de l'œil observé, bien entendu pour le méridien observé.

174. **Correction de l'astigmatisme.** — L'astigmatisme est corrigé par des lentilles plan-cylindriques, sphéro-cylindriques ou bi-cylindriques, suivant la variété qu'il présente.

La lentille cylindrique doit toujours avoir son axe perpendiculaire au méridien qu'elle est appelée à corriger.

L'astigmatisme simple est corrigé par une lentille plan-

cylindrique, dont le numéro est égal au degré de l'astigmatisme.

Exemple. — Un œil dont le méridien horizontal est emmétrope, a une amétropie ± 2 dioptries dans le méridien vertical.

On prescrira une lentille cylindrique ± 2 dioptries, dont l'axe sera horizontal, c'est-à-dire perpendiculaire au méridien vertical qui doit être corrigé, parce qu'ici ± 2 est le degré de l'astigmatisme.

L'astigmatisme composé nécessite des lentilles sphéro-cylindriques. Le numéro du verre sphérique est égal au nombre de dioptries du méridien le moins amétrope, et celui de la lentille cylindrique est égal au degré de l'astigmatisme. Les signes de ces deux lentilles sont indiqués par la nature de l'amétropie.

Exemple. — Les deux méridiens sont hypermétropes, le vertical + 5 et l'horizontal + 2 dioptries.

On prescrira un verre sphérique + 2 dioptries, et un verre cylindrique + 3, axe horizontal, + 3 exprimant ici le degré de l'astigmatisme.

Exemple. — Les deux méridiens sont myopes, le vertical — 10 dioptries et l'horizontal — 15 dioptries.

Cet astigmatisme myopique composé sera corrigé par un verre sphérique — 10 dioptries et par une lentille cylindrique — 5 dioptries, axe vertical; — 5 étant la valeur du degré de l'astigmatisme.

L'astigmatisme mixte exige l'emploi des lentilles bi-cylindriques, dont le numéro est indiqué par le degré de réfraction de chaque méridien principal.

Exemple. — Un œil est atteint d'astigmatisme mixte. On a trouvé pour la réfraction du méridien vertical + 5 dioptries, et pour celle du méridien horizontal — 10 dioptries.

On prescrira une lentille plan-cylindrique + 5 dioptries, axe horizontal, et une lentille plan-cylindrique — 10 diop-

tries, axe vertical. Telle sera la composition de la lentille bi-cylindrique, destinée à corriger cet astigmatisme mixte.

BIBLIOGRAPHIE

Donders, *L'astigmatisme et les verres cylindriques.* Paris, 1863.

Javal, *Sur l'astigmatisme irrégulier.* (*Annales d'oculistique*, LIV, 48, 1865.)

Knapp, *Asymétrie de l'œil dans ses différents méridiens.* (*Congrès international d'ophthalmologie*, p. 45. Paris, 1863.)

Schweigger, *Leçons d'ophthalmoscopie*, p. 51. Paris, 1865.

Sturm, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences.* XX, 554-761.

CHAPITRE XXII

ACCOMMODATION. RÉFRACTION

175. **Observation.** — Nous décrivons sous un même chapitre l'accommodation et la réfraction, quoique ces deux états soient bien distincts (4), mais ils se touchent par tant de points que, pour éviter des répétitions inutiles, nous n'avons pas cru devoir leur consacrer séparément un chapitre spécial.

Arrivés au point où nous sommes, nous avons peu de choses à dire sur l'accommodation et la réfraction de l'œil, car nous en avons abordé plus d'une fois les questions dans le courant de ce volume. (Voir pages 36, 106, 152, 185, 207, 209 et les chapitres XV, XVI, XVII et XVIII.) Il ne nous reste maintenant qu'à signaler quelques particularités concernant cette question. Mais qu'on ne l'oublie pas, ainsi que l'indiquent le titre de notre livre et le but que nous nous sommes proposé d'atteindre, nous n'avons pas à exposer l'ensemble des connaissances sur l'accommodation et la réfraction de l'œil, mais plus spécialement les moyens employés pour étudier ces différents états, moyens exclusivement fournis par les données de l'optique.

176. **Punctum proximum.** — La position du punctum proximum peut être déterminée au moyen des optomètres et, dans certains cas, au moyen de lentilles sphériques.

Quand on détermine le punctum proximum, au moyen de lentilles concaves, voici comment on procède : On fait fixer un objet très éloigné à travers une série de verres concaves, et la distance focale de la lentille, à foyer le plus court, avec laquelle la vision a été possible, est égale à la distance du punctum remotum, moins la distance de la lentille à l'œil. En effet, l'objet étant très éloigné et pouvant être considéré comme à l'infini, l'image se forme au foyer de la lentille employée ($p' = f$, équation 4, p. 192). Plus le foyer est court et plus l'image se rapproche de la lentille. Cette image ne peut être perçue par l'œil observé qu'à la condition de se trouver dans les limites de la vision distincte et, dans notre cas, elle ne peut être que située au punctum proximum, puisqu'elle a été amenée au minimum de la distance de la perception distincte.

Ce moyen est plus théorique que pratique. Il ne trouve son application que pour les yeux emmétropes et quelques cas d'hypermétropie. La diminution du diamètre de l'objet (p. 201) procurée par la lentille concave constitue un écueil très sérieux, surtout quand l'acuité de la vision est diminuée.

M. Soelberg Wells propose de déterminer le punctum proximum et le punctum remotum à l'aide d'une lentille très convergente. On place devant l'œil une lentille de six pouces de foyer, on fait lire le n° 1 de l'échelle typographique de Snellen, et on note le point le plus rapproché et le plus éloigné où la lecture a été possible; ces deux points connus permettent de calculer la position réelle du punctum proximum et du punctum remotum. Ce procédé pourrait convenir dans les cas de myopie. Il est de nulle valeur quand il y a amblyopie.

Il est des cas où l'emploi de la méthode conseillée par Soelberg Wells peut trouver son application. M. de Wecker nous le fait connaître en ces termes : « Dans le cas où, par suite de l'insuffisance de l'accommodation, on éprouverait

quelque difficulté à établir d'une façon précise le punctum proximum et, par suite, à chiffrer l'amplitude d'accommodation, on devrait s'aider d'un verre convexe d'une force réfringente connue et procéder comme nous venons de l'indiquer; mais, le calcul terminé, il faudrait, bien entendu, retrancher du résultat obtenu un nombre de dioptries égal au numéro du verre employé. »

D'une manière générale, il vaut mieux déterminer le punctum proximum avec les optomètres.

177. Influence de l'âge sur le punctum proximum. — Sous l'influence de l'âge, le cristallin perd de son élasticité, et le pouvoir accommodateur diminue. Il résulte de là que le punctum proximum s'éloigne, et quand il a dépassé 20 ou 30 centimètres, on dit qu'il y a presbytie.

Le punctum proximum s'éloigne d'une manière progressive. Donders en a traduit, en dioptries métriques, la position par rapport à l'âge. Voici les chiffres qu'il a donnés pour l'œil emmétrope et qui ont été acceptés par tous les auteurs :

10 ans ...	14	dioptries.	45 ans ...	3,5	dioptries.
15 — ...	12	—	50 — ...	2,5	—
20 — ...	10	—	55 — ...	1,75	—
25 — ...	8,5	—	60 — ...	1	—
30 — ...	7	—	65 — ...	0,75	—
35 — ...	5,5	—	70 — ...	0,25	—
40 — ...	4,5	—	75 — ...	0	—

« La marche du punctum proximum, dit M. Landolt, est si régulière, qu'on pourrait, grâce à elle, déterminer l'âge avec assez de précision, en tenant compte de l'état de réfraction de l'œil. » La marche est bien progressive, mais elle n'affecte pas un rapport constant avec le progrès des ans. Ainsi, de dix à vingt ans, la progression est de deux dioptries par chaque période quinquennale. Il n'en est pas

de même pour les âges subséquents. J'ai déjà insisté sur cette particularité (p. 40). J'ai pensé que la courbe décrite pouvait être rapportée à une hyperbole, mais je n'ai pu trouver l'équation exacte. Je passerai donc sous silence toutes les recherches que j'ai faites à cet égard, car elles n'ont aucun intérêt pratique, attendu qu'elles ne m'ont conduit qu'à des solutions plus ou moins approchées des résultats obtenus par Donders.

178. **Influence de l'amétropie sur le punctum proximum.** — Le punctum proximum n'est pas situé à la même distance de l'œil dans les différents états de réfraction de l'œil. Cette vérité a été clairement exprimée par M. de Wecker : « Le punctum proximum, dit-il, se trouvera, comparativement à ce qu'il serait pour l'emmétrope, plus rapproché chez le myope et, au contraire, plus éloigné dans le cas d'hypermétropie. »

Pour déterminer le punctum proximum des amétropes, M. Landolt conseille de procéder de la façon suivante : Pour les cas d'hypermétropie, du nombre des dioptries, représentant le punctum proximum de l'œil emmétrope, on retranche celui qui exprime le degré de l'hypermétropie. Ainsi, on demande où est le punctum proximum d'une personne âgée de trente ans et ayant une hypermétropie de + 3 dioptries. Si cette personne était emmétrope, son punctum proximum serait représenté par une lentille de 7 dioptries (177). En retranchant 3 de 7, on a 4 dioptries pour exprimer la valeur de son punctum proximum. « En effet, dit M. Landolt, l'amplitude d'accommodation de l'hypermétrope de trente ans est la même, 7 D, que celle de l'emmétrope. Seulement, le premier en emploie 3 pour neutraliser son défaut de réfraction, il ne lui reste donc que 4 D de réfraction positive. »

On procède inversement pour les cas de myopie, c'est-à-dire, qu'au lieu de retrancher comme dans l'exemple

précédent, on ajoute le nombre de dioptries représentant le degré de myopie, à celui qui représente le punctum proximum de l'œil emmétrope. Ainsi un myope, âgé de trente ans, et ayant une myopie de 3 dioptries, aura son punctum proximum, exprimé par une lentille, 7 + 3, égale 10 dioptries.

Si la puissance accommodative était la même pour tous les individus d'un même âge, on conçoit très bien qu'il serait facile de déterminer *à priori* la position du punctum proximum d'un amétrope dont on connaîtrait l'âge et le degré de son amétropie. Mais chez les amétropes, la puissance accommodative est très variable, tantôt elle conserve sa plénitude d'action et tantôt elle diminue. Cela dépend d'une foule de circonstances et, entre autres, de la fatigue et de la nature des travaux auxquels l'œil a été soumis. Chez les hypermétropes en cours d'étude, par exemple, j'ai toujours trouvé le punctum proximum plus éloigné que ne l'indiquaient les calculs faits suivant la méthode de M. Landolt. Ces calculs ne devenaient exacts ou au moins très approchés, que lorsque l'élève hypermétrope avait suspendu ses études pendant quelques jours. Chez les couturières hypermétropes et ayant de l'asthénopie accommodative, j'ai toujours constaté que le punctum proximum était plus distant le samedi, après une semaine de travail, que le lundi après une journée de repos.

Le moyen conseillé par M. Landolt a pour moi une grande valeur. Quand j'ai mesuré la distance du punctum proximum d'un amétrope, et que je trouve un écart notable entre le chiffre trouvé par l'expérimentation et le chiffre obtenu par le calcul, selon la méthode de M. Landolt, j'en conclus que le malade doit suspendre son travail. Je considère alors l'œil comme un organe fatigué auquel un repos de quelques jours est nécessaire.

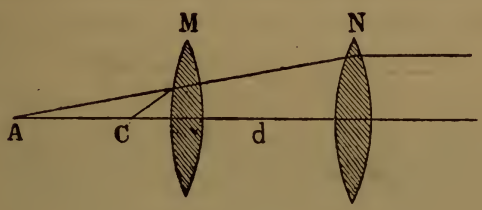
179. **Punctum remotum.** — La position du punctum

remotum peut être déterminée au moyen des optomètres ou par la méthode de Donders (146). Nous n'avons pas à insister sur ces différents modes de détermination que nous avons déjà décrits.

Il ne nous reste dans ce paragraphe qu'à justifier une proposition qui nous a servi de base pour la détermination de la réfraction à l'aide de l'ophthalmoscope, et plus particulièrement avec la méthode par l'image droite. Cette proposition est celle-ci : la distance du punctum remotum est égale à la distance focale de la lentille qui permet aux rayons parallèles d'avoir leur foyer sur la rétine.

Pour justifier cette proposition très importante, puisqu'elle est la base de la détermination de la réfraction de l'œil, considérons un œil hypermétrope, dont nous représenterons la puissance de réfraction par une lentille convergente M *(fig. 87)*.

Fig. 87.



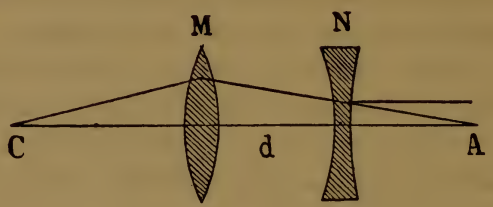
C sera un point de la rétine et A la position du punctum remotum situé en arrière de la rétine, ainsi que nous l'avons fait observer (page 29). Désignons par *a* la distance de ce punctum remotum au centre optique de la lentille M, représentant ici le point nodal de l'œil, par *d* la distance entre l'œil et la lentille N. Il s'agit de démontrer que $a = N$, si la quantité *d* est négligeable. Or, cette démonstration, nous l'avons déjà faite (page 237) et l'équation 9 nous fournit le résultat cherché, puisque les

rayons tombant parallèles sur la lentille N doivent avoir leur foyer au point C,

$$a + d = N.$$

Si nous considérons un œil myope, comme le punctum remotum A *(fig. 88)* est situé en avant de l'œil, *a* est négatif, la lentille N est concave, nous aurons l'équation 10

Fig. 88.



(page 237) pour nous donner le résultat cherché et nous démontrer que la distance du punctum remotum est égale à la distance focale de la lentille qui corrige la myopie, la distance de la lentille à l'œil étant négligée.

En général on ne tient pas compte de la distance de la lentille à l'œil, cependant il est des cas où il ne faut pas agir ainsi. Quand la lentille employée a une grande distance focale, la quantité *d* peut être négligée; dans le cas contraire, il faut en tenir compte, l'ajouter dans les cas d'hypermétropie et la retrancher dans les cas de myopie.

Une autre particularité importante à noter, c'est l'influence des déplacements de la lentille sur la netteté de la vision quand on cherche à déterminer le punctum remotum. Dans le cas de myopie, si la vision s'améliore, en éloignant le verre de l'œil, c'est l'indice que le verre choisi est trop fort. C'est l'inverse pour l'hypermétropie.

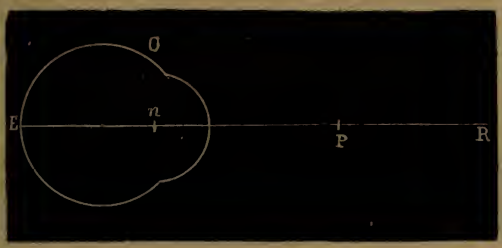
La distance du punctum remotum d'un œil amétrope étant égale à la distance focale de la lentille qui corrige

l'amétropie, il suffit donc, quand on se trouve en présence d'un cas d'amétropie à corriger, de rechercher la distance de ce punctum remotum pour connaître le numéro du verre convenable qui doit être prescrit.

Quand il s'agit d'hypermétropie, il faut remarquer que l'accommodation en s'exerçant masque une certaine partie du défaut de réfraction. Cette partie dissimulée par l'accommodation porte le nom d'*hypermétropie latente,* et la différence entre l'hypermétropie absolue et l'hypermétropie latente s'appelle l'*hypermétropie manifeste.* Si l'examen est superficiel ou incomplet, on est exposé à n'obtenir que la valeur de l'hypermétropie manifeste, ce qui pourrait devenir une cause d'erreur.

180. **Amplitude de l'accommodation.** — La distance comprise entre le punctum remotum et le punctum proximum constitue l'*étendue,* le *parcours* ou l'*espace* de l'accommodation. Cette distance est celle où tous les objets sont visibles. Mais l'*amplitude* de l'accommodation est la force nécessaire pour changer l'adaptation de l'œil au

Fig. 89.



O, œil. — E, rétine. — R, punctum remotum. — P, punctum proximum.

punctum remotum en adaptation au punctum proximum. Pour obtenir ce résultat, la puissance accommodatrice de l'œil joue le même rôle qu'une lentille qui, placée devant un œil dépourvu d'accommodation, lui permettrait de voir

les objets situés à son punctum proximum. Cette puissance est donc égale à une lentille positive qui donnerait aux rayons la même direction que s'ils venaient du punctum remotum.

D'après Donders, voici comment on représente l'amplitude de l'accommodation par une lentille donnée.

Soit *(fig. 89)* R le punctum remotum, et supposons un objet situé à ce point. Son image sera sur la rétine, en E, puisque l'objet est nettement distingué. En désignant par R la distance de ce punctum remotum au point nodal de l'œil, par *a* la distance de ce point nodal à la rétine, et par O la valeur de la réfraction statique de l'œil, nous avons (équation 1, page 191) :

$$\frac{1}{O} = \frac{1}{R} + \frac{1}{a}.$$

Plaçons maintenant l'objet au punctum proximum. Pour que l'image de l'objet vienne se peindre sur la rétine, il faut que la réfraction de l'œil augmente, c'est-à-dire que l'accommodation intervienne. Considérons la puissance accommodatrice, déployée en ce cas, comme une lentille convexe A, ajoutée au cristallin et venant augmenter la réfraction de l'œil. Nous aurons, en désignant par P la distance du punctum proximum,

$$\frac{1}{A} + \frac{1}{O} = \frac{1}{P} + \frac{1}{a}.$$

En retranchant de cette équation la précédente, il vient

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}.$$

qui représente l'amplitude de l'accommodation en fonction du punctum remotum et du punctum proximum, mais seulement pour l'œil myope.

Si l'œil est emmétrope, $R = \infty$, et l'équation prend la forme

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P}.$$

Si l'œil est hypermétrope, le punctum remotum étant situé en arrière de l'œil, il y a lieu de modifier le signe de R, et l'amplitude de l'accommodation est exprimée par l'équation suivante

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P} + \frac{1}{R}.$$

En se servant du système métrique, les calculs deviennent plus simples et plus faciles. Si l'on désigne toutes les quantités par leurs valeurs correspondantes en dioptries métriques, et si l'on représente l'amplitude d'accommodation par *a* dioptries, le punctum remotum par sa valeur en dioptries, *r*, et le punctum proximum aussi par sa valeur en dioptries, *p*, on aura :

1° Pour l'emmétrope, $a = p$;

2° — le myope, $a = p - r$;

3° — l'hypermétrope, $a = p + r$.

On voit par là que pour déterminer l'amplitude de l'accommodation de l'œil emmétrope, il suffit de mesurer la distance du punctum proximum en centimètres, et de diviser 100 par le nombre trouvé, pour obtenir en dioptries métriques le résultat demandé.

Exemple. — Un œil emmétrope a son punctum proximum à 25 centimètres; quelle est en dioptries métriques l'amplitude de son accommodation?

$$\frac{100}{25} = 4 \text{ dioptries.}$$

Exemple. — Un œil hypermétrope de 6 dioptries a son punctum proximum situé à 20 centimètres; quelle est en dioptries métriques l'amplitude de son accommodation?

La valeur du punctum remotum étant donnée en dioptries, il ne reste qu'à convertir en dioptries le punctum proximum, qui est 100 divisé par 20, égale 5 dioptries, nous aurons donc pour l'amplitude de l'accommodation de cet œil,

$$6 + 5 = 11 \text{ dioptries.}$$

Exemple. — Un œil myope de 10 dioptries a son punctum proximum à 5 centimètres; quelle est en dioptries métriques l'amplitude de son accommodation?

Le punctum proximum sera représenté par une lentille métrique, 100 divisé par 5 égale 20 dioptries, le punctum remotum est donné, l'amplitude d'accommodation de cet œil sera

$$20 - 10 = 10 \text{ dioptries.}$$

La manière de mesurer l'amplitude telle que nous venons de l'exposer et telle qu'elle a été proposée par Donders, est l'objet des critiques de Hasner, qui a imaginé une autre manière de compter la puissance accommodatrice. La méthode d'Hasner est basée sur la formule que nous avons exposée au paragraphe 86; mais comme elle ne me paraît pas avoir été acceptée, je crois inutile de la développer.

On a voulu aussi représenter graphiquement l'amplitude de l'accommodation (Scheffler, Hasner). On a obtenu une hyperbole équilatère. Les calculs nécessités par une courbe de ce genre, seront toujours un obstacle à l'emploi d'une pareille détermination. Nous avons en effet des moyens plus simples et plus rapides pour connaître exactement l'amplitude de l'accommodation. Ceux que nous avons exposés suffisent aux besoins de la pratique ordinaire, comme aux recherches scientifiques. Il n'y a donc pas lieu de les remplacer par des formules plus compliquées.

181. **Presbytie.** — Quand, sous l'influence de l'âge, le punctum proximum s'est éloigné de l'œil au delà de la distance habituelle de nos travaux ordinaires, on dit qu'il y a presbytie ou presbyopie.

Que faut-il entendre par ces mots : distance habituelle? Rien de plus vague et de plus difficile à déterminer. Pour les uns, cette distance serait de 8 pouces, et pour les autres, elle varierait de 20 à 30 centimètres. Comme pour l'œil de l'emmétrope, âgé de quarante ans, le punctum proximum se trouve situé à 22 centimètres environ, on a pris cet âge et cette distance pour point de départ de la presbytie. Ce point de départ est, comme on le voit, très arbitraire, car il est des emmétropes qui, dès leur jeunesse, ont pris l'habitude de travailler à une distance plus ou moins éloignée et ces personnes seront gênées à des époques diverses par le recul de leur punctum proximum. Ce sera plus tôt, si elles ont eu l'habitude de travailler à une distance inférieure à 22 centimètres, et plus tard dans le cas contraire. Cependant, comme ce point de départ est généralement accepté, il y a lieu de le conserver.

Nous avons vu (p. 40) la manière dont on a conseillé de calculer le verre destiné à corriger la presbytie. Le calcul peut être aussi fait en se servant de l'équation (3) (p. 192), dans laquelle p désignera la distance à laquelle doit travailler le presbyte, soit 8 pouces; p', la distance de son punctum proximum, et f, le foyer de la lentille correctrice.

Pour M. Landolt, la presbytie trouve son expression dans le nombre de dioptries qu'il faut ajouter à l'œil, pour lui procurer une force réfringente positive de 4,5 dioptries. Pour l'œil emmétrope, la presbytie est donc égale à la différence entre le nombre de dioptries qui représente sa force réfringente, et le nombre 4,5 qui représente celle de l'œil dont le punctum proximum est à 22 centimètres. Cette différence indique aussi le numéro de la lentille

métrique qu'il faut donner à l'emmétrope pour corriger sa presbytie.

Voici les chiffres qui ont été indiqués par Donders, Landolt et de Wecker pour la correction de la presbytie suivant les différents âges. Les données de Donders sont exprimées en pouces, celles de MM. Landolt et de Wecker en dioptries.

Age.	Donders.	Landolt.	De Wecker.
45.....	»	1	0,50
50.....	40.....	2	1
55.....	30.....	3	1,50
60.....	18.....	4	2
65.....	13.....	4,5.....	»
70.....	10.....	5,5.....	»
75.....	9.....	6	»
80.....	7.....	7	»

Ces valeurs ne concordent pas. Il ne faut pas s'en étonner, car en fait de calculs *à priori* sur la presbytie, tout est arbitraire comme point de départ, l'âge de l'individu et la distance type à laquelle on doit travailler.

Les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessus ne conviennent qu'à l'œil emmétrope. Pour l'œil amétrope, il faut tenir compte de la réfraction. Pour l'œil myope, il faudrait retrancher du chiffre indiqué le nombre de dioptries qui exprime le degré de la myopie. Pour l'œil hypermétrope on ajoutera au contraire le nombre de dioptries qui la corrigent. On voit par là que l'hypermétrope a besoin de lunettes plus fortes au fur et à mesure qu'il vieillit, c'est le contraire pour le myope. La presbytie augmentant graduellement chez tous les deux, nécessite un verre plus fort pour le premier et un verre plus faible pour le second. Cependant, lors d'une presbytie croissante et croissant rapidement sans aucun rapport avec l'âge, il faut se défier de la présence d'un glaucôme, dont cette presbytie n'est le plus souvent qu'un symptôme précurseur.

Pour calculer le verre destiné à corriger la presbytie, M. Monoyer a proposé la formule suivante :

$$\frac{1}{f} = -k\frac{1}{a} - \frac{1}{r} + \frac{1}{d}.$$

r étant le punctum remotum; a, le pouvoir accommodatif; k, une fraction plus petite que l'unité et indiquant la portion du pouvoir accommodatif, dont l'œil doit faire usage quand il se sert de la lentille f, pour voir distinctement à la distance d. L'auteur s'étant réservé d'en donner plus tard la démonstration, il est impossible dès maintenant de se prononcer sur sa valeur.

En présence de ces diverses manières de déterminer *à priori* le numéro des lunettes qui corrigent la presbytie d'un individu, dont l'âge est connu, nous ne pouvons que répéter ce que nous avons dit au début. La presbytie, qui est la sénilité de l'œil, échappe dans bien des cas à toutes les règles mathématiques, car il y a des individus qui vieillissent avant l'âge, et d'autres qui restent jeunes malgré le progrès des années.

En attendant que l'accord se soit fait sur le point de départ qui doit servir à la mesure de la presbytie, et par suite aux calculs relatifs à sa correction, je crois qu'il est plus simple d'examiner chaque cas en particulier, de déterminer pour ce cas la distance du punctum proximum et d'effectuer les calculs pour la distance qui est requise par la nature du travail.

BIBLIOGRAPHIE.

Donders, *De l'usage et du choix des lunettes.* (*Annales d'oculistique,* XLIV, 234, 1860.)

Hasner, *De l'unité en accommodation.* (*Annales d'oculistique,* LXXV, p. 25, 1876.)

— *L'hyperbole d'accommodation.* (*Annales d'oculistique,* LXXIX, p. 51, 1878.)

Landolt, *Leçons sur le diagnostic des maladies des yeux,* p. 116. Paris, 1877.

Monoyer, *Nouvelle formule destinée à calculer la force réfringente ou le numéro des lunettes de presbyte.* (*Académie des Sciences,* 1875.)

Scheffler, *Die Theorie der Augenfehler,* 1868. Cité par Hugo Gerold. *Die ophthalmoglogische Physik,* t. I, p. 226. Vienne, 1869.

De Wecker, *Thérapeutique oculaire,* p. 779. Paris, 1879.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

Accommodation, 36. Amplitude de l'—, 347.

Acuité de la vision, 3. Détermination de l'— par les optomètres, 296, 311. Différence entre l'— et la perception lumineuse, 4. Influence de l'éclairage sur l'—, 46.

Amaurose simulée. Diagnostic de l'—, 58, 315.

Amétropie, 37. Longueur de l'œil amétrope, 166. Punctum proximum dans l'—, 343.

Angle α, 99. — de déviation du prisme, 303. — d'ouverture des miroirs, 69. — de réflexion, 55. — de réfraction, 155. — de réfringence du prisme, 303. — d'incidence, 54, 155. — du strabisme, 101.

Arête du prisme, 303.

Asthénopie musculaire, 311.

Astigmatisme. Correction de l'—, 337. Définition de l'—, 329. Degré de l'—, 333. Division de l'—, 330.

Astigmomètre, 336.

Autoophthalmoscope, 22.

Axe des lentilles cylindriques, 322. — principal des lentilles, 181. — principal des miroirs, 68. — secondaire des lentilles, 181. — secondaire des miroirs, 69.

Base du prisme, 303.

Brachymétropie, 38.

Carré des distances. Loi du —, 42.

Catoptrique, 53.

Caustiques par réflexion, 80.

Centre de figure du miroir, 69. — optique, 181.

Centromètre, 323.

Cercles de diffusion, 211, 217.

Cornée. Courbure de la face antérieure de la —, 119. Rayon de courbure de la —, 128.

Cristallin. Changement de courbure du— pendant l'accommodation, 106. Lumière réfléchie par le —, 105. Rayon de courbure du —, 109.

Cylindres, voyez *Lentilles cylindriques*.

Déplacement parallactique, 192.

Diamètre du miroir, 68, 146.

Diasporamètre, 309.

Dioptrie, 225.

Disque de Rekoss, 275.

Echelle typographique, 8.

Eclairage direct, 22. — oblique, 22. Influence de l'— sur l'acuité de la vision, 46.

Eclairement des surfaces. Loi d'— 42.

Ellipse. Rayon de courbure de l'—, 125.

Elliptiques. Miroirs — 119.

Emmétropie, 38.

Examen ophthalmoscopique, 27. — de la papille d'un œil astigmatique, 335.

Fente sténopéique, 331.

Foyer conjugué des lentilles, 187. — des miroirs, 70. — principal des lentilles, 164, 186, 187. — principal des miroirs, 70, 73.

Grandeur des images fournies par les lentilles, 198. — des images fournies par les miroirs concaves, 77. — des images fournies par les miroirs convexes, 103. — des images fournies par les miroirs convexes par rapport au rayon de courbure, 104. — de l'image renversée obtenue par l'examen ophthalmoscopique, 247. — de la seconde image dans un système de deux lentilles, 117.

Grossissement de la loupe, 202. — — de la lunette de Galilée, 287.

Hypermétropie, 38. Diagnostic de l'— par l'image renversée, 244; — par l'image droite, 262. Punctum proximum de l'œil hypermétrope, 343. Influence des déplacements de la lentille sur la grandeur de l'image renversée de l'œil atteint d'—, 249.

Image droite. Emploi de l' — pour la détermination de la réfraction de l'œil, 259.

Image renversée. Emploi de l' — pour la détermination de la réfraction de l'œil, 243.

Images fournies par les miroirs concaves, 76; convexes, 97; plans, 56. — par le cristallin, 196. — par les lentilles, 191. Application des — par les miroirs au diagnostic de la réfraction, 152.

Images de Purkinje ou Sanson, 1, 131.

Indice de réfraction, 155. — des verres de lunettes, 221.

Insuffisance d'action musculaire, 311.

Intensité lumineuse. Propriété de l'œil de distinguer entre deux intensités lumineuses, 44.

Intervalle focal de Sturm, 330.

Kératoscopie, 136.

Lentilles, 180. Numérotage des — 220. — de Stokes, 326. — d'urane, 27.

Lentilles cylindriques, 322. Variétés des — 323, Réfraction par les —, 322.

Longueur focale des miroirs, 73. — de l'œil amétrope, 85. — de l'œil normal, 178.

Loupe. Grossissement de la —, 202.

Lueur oculaire, 15.

Lumière réfléchie, 53. — réfractée, 155.

Lunette de Galilée, 287. — *Sténopéique*, 216.

Méridiens principaux, 329.

Métroscope, 64.

Micromètre de Giraud Teulon, 252.

Microscope de Smith, 93.

Miroirs concaves. Longueur focale et rayon de courbure des —, 73. Foyer conjugué des —, 74. Images, 76. Grandeur des images, 77. Caustiques par réflexion, 80.

Miroirs convexes. Images, 95. Leur construction géométrique, 97. Leur grandeur, 103. Relation entre la grandeur de l'image et le rayon de courbure des —, 104. Mesure de la longueur focale principale et du rayon de courbure des —, 108.

Miroirs elliptiques, 119.

Miroirs ophthalmoscopiques. Composition, 143. Centre de courbure, 144. Diamètre, 146. Rayon de courbure, 148. Trou du miroir, 151. Application des images fournies par les — à la détermination de la réfraction de l'œil, 152.

Miroirs plans. Définition, 56. Images, 56. Leur position, 57.

Miroirs prismatiques. Définition, 112. Réflexion de la lumière par les —, 112.

Miroirs sphériques Définition, 68. Axe principal et secondaire, 69. Angle d'ouverture, 69. Sa détermination, 71. Foyer principal et conjugué, 70.

Myopie, 38. Diagnostic de la —, par l'image renversée, 244; par l'image droite, 262. Punctum proximum de l'œil myope, 343. Influence des déplacements de la lentille sur la grandeur de l'image renversée de l'œil atteint de —, 249. Prédisposition à la —, 314.

Numérotage des lentilles, 220. — suivant le système duodécimal, 220. — suivant le système métrique, 225.
Objectif à prismes de De Wecker et Roger, 115.
Œil. Longueur de l'— amétrope, 166. Longueur de l'— normal, 178. Propriété de l'— de distinguer entre deux intensités lumineuses, 44.
Ophthalmomètre de Helmholtz, 160. — de Landolt, 317.
Ophthalmoscope. Anagnostakis, 83. — Badal, 66, 137. — Burke, 93. — Castorani, 86. — Chevalier, 87. — Coccius, 23, 64. — Desmarres, 85. — Epkens, 63. — Follin, 83. — Follin et Nachet, 84. — Galezowski, 23, 25, 27, 89. — Gillet de Grandmont, 34. — Giraud Teulon, 24, 25, 318. — Helmholtz, 23, 63. — Hugo Gerold, 65. — Javal, 65. — Knapp, 277. — Landolt, 280. — Liebreich, 88. — Loring, 277. — Macdonald, 25. — Meyer, 283. — Meyerstein, 27, 113. — Monoyer, 86, 116. — Montméja, 91. — Panas, 66. — Poncet, 27. — Ruete, 23. — Saeman, 64. — Schneller, 252. — Schmidt-Rimpler, 253. — Sichel, 116. — Ulrich, 114. — De Wecker, 279. — Zehender, 23, 111.
Optomètre, 285. — Badal, 291. — Burow, 285. — Graefe, 286. — Loiseau, 294. — Perrin, 290. — Scheiner, 213. — Snellen et Landolt, 286. — Stampfer, 215. — De Wecker, 296.
Parallaxe, 192.
Phakomètre Badal, 170. — Silberman, 210. — Snellen, 210.
Points nodaux, 183. Distance des — à la cornée, 185. Influence de l'accommodation et de la réfraction sur la position des —, 185. Propriétés des —, 183.
Presbytie, 38, 351. Détermination des verres correcteurs de la —, 352.
Prisme. Action du —, 303. Influence de la rotation du — sur la position de l'image virtuelle, 306. — de Berlin, 313. — de Crétès, 308. Relation entre l'angle de déviation du — et son angle de réfrigence, 304.
Punctum proximum, 39. Influence de l'âge sur le —, 342. Influence de l'amétropie sur le —, 343.
Punctum remotum, 39. Relation entre le — et la réfraction de l'œil, 345.
Réciproque, 223.
Réfraction, 155. — à travers plusieurs milieux, 175. — à travers un milieu limité par des surfaces parallèles, 158. — à travers un milieu limité par une surface sphérique, 162. — à travers un système centré de deux lentilles, 233.
Réfraction de l'œil. Détermination de la — par les images fournies par les miroirs, 152; par l'image renversée, 243; par l'image droite, 259; par les optomètres, 285.
Règle à calcul, 223.
Rotation. Influence de la — d'une lentille cylindrique, 324. Influence de la — d'un prisme, 306.
Simulation de l'amaurose unilatérale. Diagnostic de la —, 58, 315.
Stéréoscope à charnière de Javal, 63.
Système duodécimal et métrique pour le numérotage des lentilles, 220.
Vision binoculaire. Diagnostic de la — par les prismes, 310.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES NOMS D'AUTEURS

Aguilon. Courbure de la cornée, 120.
Airy. Lentilles cylindriques, 322.
Alhazen. Courbure de la cornée, 120.
Anagnostakis. Ophthalmoscope, 83.
Aubert. Propriété de l'œil de distinguer entre deux intensités lumineuses, 46. — Rayon de courbure de la cornée, 128.
Badal. Ophthalmoscope, 66, 288. — Phakomètre, 170. — Cercles de diffusion, 217. — Optomètre, 291.
Becker. Centromètre, 320.
Berlin. Prisme, 313.
Berthold. Amaurose simulée, 317.
Boettcher. Prismes à réflexion, 321.
Bravais. Astigmomètre, 336.
Brewster. Kératoscopie, 137.
Burke. Ophthalmoscope, 93.
Burow. Numérotage des lentilles, 224. — Optomètre, 285.
Carron du Villards. Application des miroirs à l'examen de l'œil, 2.
Castorani. Ophthalmoscope, 86.
Celsius. Influence de l'éclairage sur l'acuité de la vision, 49.
Chevalier. Ophthalmoscope achromatique, 87.
Chossat. Courbure de la cornée, 123.
Coccius. Ophthalmoscope, 23, 64, 113.
Crètès. Prisme mobile, 308.
Cuignet. Kératoscopie, 136, 140.
Demours. Lumière réfléchie par le cristallin, 106. — Courbure de la cornée, 122.
Deshais Gendron. Lumière réfléchie par le cristallin, 105.
Desmarres. Ophthalmoscope, 85.
Donders. Accommodation, 37. Détermination de la réfraction de l'œil par l'image droite, 259. — Modification de la lentille de Stokes, 326. — Fente sténopéique, 332. — Influence de l'âge sur le punctum proximum, 342. — Mesure de l'amplitude de l'accommodation, 348. — Presbytie, 352.
Dubosc. Prisme mobile, 310.
Epkens. Ophthalmoscope, 63.
Flees. Appareil pour le diagnostic de l'amaurose simulée, 58.
Follin. Ophthalmoscope, 83, 84.
Forbes. Courbure de la cornée et du cristallin, 124.
Frœbelius. Ophthalmoscope, 113. Kératoscopie, 139.
Galezowski. Ophthalmoscope, 23, 27, 89.
Gavarret. Grossissement de la loupe, 203.
Gerson. Courbure de la cornée, 122, 123.
Gillet de Grandmont. Ophthalmoscope, 34.
Giraud Teulon. Ophthalmoscope binoculaire, 23, 25, 26, 318. — Œil schématique, 185. — Numérotage des lentilles, 223. — Micromètre, 252. — Grossissement de la lunette de Galilée, 287. — Théorie de l'optomètre Badal, 292. — Puissance de l'action des muscles, 314.

Graefe. Emploi des images de Purkinje dans le diagnostic de la cataracte zonulaire, 135. — Optomètre, 141. — Insuffisance d'action musculaire, 312.— Amaurose simulée, 316.
Green. Échelle typographique, 9.
Hairion. Kératoscopie, 318.
Hasner. Accommodation, 350.
Hay. Influence de la rotation du cylindre sur la réfraction, 324.
Helmholtz. Ophthalmoscope, 23, 63. — Courbure de la cornée, 124. — Effets résultant de la coïncidence de deux rayons lumineux dans un même milieu, 157. — Ophthalmomètre, 160. — Détermination de la réfraction de l'œil par l'examen ophthalmoscopique de l'image droite, 259.
Hugo Gerold. Ophthalmoscope, 28, 65. — Grossissement de la loupe, 203.
Jæger. Détermination de la réfraction par l'examen ophthalmoscopique de l'image droite, 259.
Jamain. Prisme mobile, 310.
Javal. Stéréoscope à charnière, 60. — Ophthalmoscope, 65. — Détermination de l'angle α, 99. — Règle à calcul, 223. — Passage du système duodécimal au système métrique, 228. — Vérification des lentilles cylindriques, 322. — Lentille de Stokes, 327. — Examen de la papille d'un œil astigmatique, 336.
Kepler. Courbure de la cornée, 120.
Klein. Influence de l'éclairage sur l'acuité de la vision, 50.
Knapp. Courbure de la cornée, 125. — Rayon de courbure de la cornée, 128. — Ophthalmoscope, 277. — Forme de l'image de la papille astigmatique, 335.
Landolt. Différence entre l'acuité visuelle et la perception lumineuse, 4. — Angle du strabisme, 101. — Longueur de l'œil amétrope, 168. — Ophthalmoscope, 280. — Ophthalmomètre, 317. — Punctum proximum des amétropes, 343. — Presbytie, 351.
Laugier. Kératoscopie, 139.
Lawrence. Instrument pour déterminer l'axe de l'astigmatisme, 328.
Liebreich. Ophthalmoscope, 88.
Loring. Ophthalmoscope, 277.
Macdonald. Ophthalmoscope, 25.
Mackenzie. Emploi des images de Purkinje dans le diagnostic du glaucôme, 133.
Mandelstamm et Scheöler. Position des points nodaux, 185.
Martin. Grossissement de la loupe, 202.
Mauthner. Détermination de la réfraction de l'œil par l'examen ophthalmoscopique de l'image droite, 259.
Meyer. Ophthalmoscope, 283.
Meyerstein. Ophthalmoscope, 27, 113.
Monoyer. Echelle typographique, 8. — Ophthalmoscope portatif, 86.— Ophthalmoscope à trois observateurs, 116. — Calcul du verre correcteur de la presbytie. 353.
Montméja. Ophthalmoscope, 91.
Panas. Ophthalmoscope à deux faces, 66. — Déplacement parallactique, 193.
Panum. Grossissement de la loupe, 202.
Petit. Courbure de la cornée, 120.
Poncet. Ophthalmoscope, 27.
Purkinje. Images, 1, 131.
Rekoss. Disque, 275.
Rochon. Diasporamètre, 309.
Ruete. Ophthalmoscope, 23.
Saeman. Ophthalmoscope, 64.
Sanson. Images, 1, 131.
Sappey. Courbure de la cornée, 121.
Scheffler. Accommodation, 350.
Scheiner. Courbure de la cornée, 104, 120. — Optomètre, 213.
Schmidt Rimpler. Ophthalmoscope, 253.
Schneller. Ophthalmoscope, 252.
Schobbens. Table des réciproques, 223.

Schweigger. Examen de la papille d'un œil astigmatique, 335.
Senff. Courbure de la cornée, 124.
Sichel. Ophthalmoscope à deux observateurs, 116.
Silberman. Phakomètre, 210.
Smith. Microscope, 93.
Snellen. Echelle typographique, 8, 9. — Influence de l'éclairage sur l'acuité de la vision, 47. — Métroscope, 64. — Phakomètre, 210. — Lentille de Stokes modifiée, 327.
Snellen et Landolt. Détermination de la réfraction de l'œil par l'examen ophthalmoscopique de l'image renversée, 257; par l'image droite, 260. — Optomètre, 286.
Soelberg Wells. Déplacement parallactique, 193. — Détermination du punctum proximum et du punctum remotum, 341.
Sous. Influence de l'éclairage sur l'acuité de la vision, 50. — Détermination de l'angle d'ouverture des miroirs, 71. — Construction graphique des images fournies par les miroirs convexes, 98. — Rayon de courbure de l'ellipse, 125. — Diamètre des miroirs, 147. — Rayon de courbure des miroirs, 148. — Longueur de l'œil amétrope, 168. — Déplacement parallactique, 192. — Grossissement de la loupe, 202. — Moyen rapide d'évaluer en centimètres la distance focale d'une lentille numérotée en pouces, 230. — Réfraction à travers un système de deux lentilles, 233. — Distance de l'image renversée à la lentille, 242. — Grossissement de l'image renversée, 247. — Influence des déplacements de la lentille sur la grandeur de l'image renversée, 249. — Grossissement de la lunette de Galilée, 288. — Procédé optométrique, 297. — Influence de la rotation du cylindre sur la réfraction, 324.
Stampfer. Optomètre, 215.
Sturm. Courbure de la cornée, 124. — Rayon de courbure de l'ellipse, 125. — Intervalle focal, 330.
Titéca. Diagnostic de la prédisposition à la myopie, 315.
Ulrich. Ophthalmoscope, 114.
Verdet. Grossissement de la loupe, 203.
Warlomont et Testelin. Déplacement parallactique, 193.
Wecker (de). Echelle métrique, 8. — Objectif à prismes pour l'usage d'un ophthalmoscope démonstratif, 115. — Ophthalmoscope métrique à réfraction, 279. — Optomètre, 296. — Détermination du punctum proximum dans le cas d'insuffisance accommodatrice, 341. — Verres correcteurs de la presbytie, 352.
Whewell. Astigmatisme, 329.
Wundt. Grossissement de la loupe, 202.
Young. Astigmatisme, 333.
Zehender. Ophthalmoscope, 23, 111.

Bordeaux. — Imp. G. Gounouilhou, rue Guiraude, 11.